



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 23 620 A 1**

⑤① Int. Cl. 8:  
**B 41 J 2/045**

②① Aktenzeichen: 196 23 620.7  
②② Anmeldetag: 13. 6. 96  
②③ Offenlegungstag: 19. 12. 96

DE 196 23 620 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
14.06.95 JP P 7-147316

⑦① Anmelder:  
Sharp K.K., Osaka, JP

⑦④ Vertreter:  
TER MEER-MÜLLER-STEINMEISTER & Partner,  
Patentanwälte, 81679 München

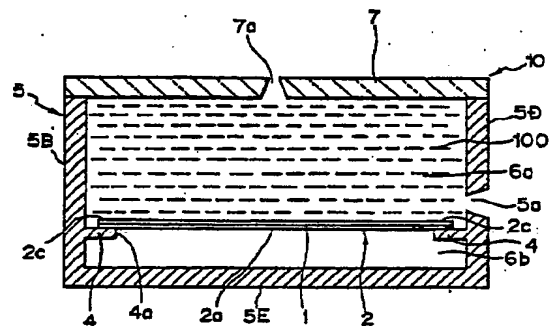
⑦② Erfinder:

Abe, Shingo, Tenri, Nara, JP; Inui, Tetsuya, Nara, JP; Matoba, Hirotsugu, Sakurai, Nara, JP; Hirata, Susumu, Nara, JP; Kimura, Masaharu, Daitou, Osaka, JP; Ishii, Yorishige, Yamatotakada, Nara, JP; Horinaka, Hajime, Kashiba, Nara, JP; Onda, Hiroshi, Yamatokooryama, Nara, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Tintenstrahlkopf mit einer Druckerzeugungsplatte und einer Verformungsschicht zur Verformung der Platte

⑤⑦ Es ist ein Tintenstrahlkopf vorgesehen, der in seiner Tintenkammer (6a) Druck erzeugt, um eine Tintenflüssigkeit (100) durch eine Tintenausstoßöffnung (7a) aus der Kammer heraus nach außen auszustößen und miniaturisiert werden kann, die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte vergrößert und eine lange Standzeit sicherstellt. Die Tintenkammer (6a) besitzt eine Fensteröffnung (4a) an einer Wandfläche (4) gegenüber der Tintenausstoßöffnung (7a). Es ist eine Druckerzeugungsplatte (2) aus einem flexiblen Material vorgesehen, die die Fensteröffnung (4a) im wesentlichen flüssigkeitsdicht abdichtet. Die Druckerzeugungsplatte (2) ist mit ihren beiden Endbereichen an der Wandfläche (4) angeordnet und zwar in wenigstens einer Richtung bezüglich ihres Umfangsbereiches (2c). Die Druckerzeugungsplatte (2) ist mit einer Verformungseinrichtung (1) versehen, um die Druckerzeugungsplatte in einem nicht versetzten Zustand zu verbringen, während dessen die Druckerzeugungsplatte flach ist und in einen versetzten Zustand, während dessen ihr mittiger Bereich (2a) zwischen den beiden an der Wandfläche (4) angeordneten Enden in einer Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche (4) versetzt ist.



DE 196 23 620 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 96 602 051/482

33/24

Die Erfindung betrifft einen Tintenstrahlkopf, der eine Aufzeichnung durch ein Ausstoßen und fliegende Tintentropfen ausführt

Bekannterweise wird bei einem System eines Tintenstrahlkopfes von Produkten Gebrauch gemacht, die auf einer Vielzahl von Prinzipien bei dem Ausstoßen eines Flüssigkeitstropfens beruhen. Miteingeschlossen ist beispielsweise ein System, welches Tinte aus einer Düsenbohrung seiner Tintenammer durch eine mechanische Verformung ausstößt, die erzielt wird, wenn eine Spannung an ein piezoelektrisches Element (System mit einem piezoelektrischen Element) angelegt wird und ein System, welches Blasen bildet durch das Sieden von Tinte durch die Erhitzung mit einer Heizung und die Tinte durch seine Düsenbohrung durch eine Veränderung des Druckes ausstößt, die durch die Bildung von Blasen verursacht wird (Bubble Jet System).

Weiterhin ist ein Tintenstrahlkopf vorgeschlagen worden, der eine Druck erzeugende Einrichtung einsetzt, die zur Erzeugung von Wärme elektrifiziert ist, um eine Verformung der Einrichtung hervorzurufen (offengelegte japanische Patentveröffentlichung Nr. HEI 2-30543).

Dieser Tintenstrahlkopf wird implementiert durch das Vorsehen einer Elektrode an beiden Enden seiner Düsenplatte mit einer Düsenöffnung, das Spannen einer plattenförmigen Druckerzeugungseinrichtung über die Elektroden, um sie miteinander zu verbinden und die Anordnung einer Abdeckungseinrichtung, die eine Tintenammer bildet, um sie aufzunehmen.

Jedoch stellt bei einem Tintenstrahlkopf nach einem System mit einem piezoelektrischen Element das piezoelektrische Element nur eine relativ kleine Verformung zur Verfügung. Es ist daher erforderlich, piezoelektrische Elemente zu laminieren oder einen großflächigen bimorphen Typ einer piezoelektrischen Betätigungseinrichtung zu bilden, um dem Betrag der Verformung zum Ausstoßen eines Tintentropfens zu vergrößern. Daher weisen das piezoelektrische Element und die Tintenammer große Abmessungen auf und es ist schwierig, beispielsweise einen Kopf mit vielen Düsen zu schaffen, indem eine Vielzahl von Düsen zu einem Körper integriert wird.

Darüber hinaus verwendet der Tintenstrahlkopf nach dem Bubble Jet System Blasen, die durch Sieden der Tinte durch die Erhitzung mit einer Heizung erzeugt werden und daher ist es relativ einfach, die Düsen durch eine kompakte Bauweise der Heizung zu integrieren und die Zeit für die Aufzeichnung kann vorteilhaft verringert werden. Es ist jedoch erforderlich, die Heizung in einer kurzen Zeit auf eine Temperatur von etwa 1000°C zu erhitzen, um saubere Blasen zu erhalten und infolgedessen neigt die Heizung dazu, Schaden zu nehmen und die Standzeit des Tintenstrahlkopfes zu verringern.

Darüber hinaus besitzt der in der offengelegten japanischen Patentveröffentlichung HEI 2-30543 beschriebene Tintenstrahlkopf ein Problem derart, daß die Tinte sich zu einer hinteren Fläche der Druck erzeugenden Einrichtung bewegt, wenn auf die Tinte Druck ausgeübt wird und infolgedessen wird der Druck verringert, um ein Absinken der Ausstoßkraft und einer Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte hervorzurufen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt daher darin, einen Tintenstrahlkopf zu schaffen, der miniaturisiert werden kann, die Ausstoßkraft und die Ausstoßge-

schwindigkeit der Tinte ansteigen läßt und eine lange Lebensdauer sicherstellt.

Zur Lösung der vorstehend erwähnten Aufgabe ist ein Tintenstrahlkopf zur Erzeugung eines Druckes in einer Tintenammer zur Abgabe einer Tintenflüssigkeit in der Tintenammer durch eine Tintenausstoßöffnung nach außerhalb der Tintenammer vorgesehen, wobei die Tintenammer eine Fensteröffnung an einer Wandfläche gegenüber der Tintenausstoßöffnung aufweist, mit:

einer Druckerzeugungsplatte, deren Umfangsbereich beide Endbereiche wenigstens in einer Richtung an der Wandfläche in einem Zustand angeordnet aufweist, bei dem die Druckerzeugungsplatte die Fensteröffnung im wesentlichen flüssigkeitsdicht abdichtet; und

einer Verformungseinrichtung zum Versetzen der Druckerzeugungsplatte in einen nicht versetzten Zustand, bei dem die Druckerzeugungsplatte flach ist und in einen versetzten Zustand, bei dem ein mittlerer Abschnitt der Druckerzeugungsplatte zwischen den beiden an der Wandfläche angeordneten Endbereichen in eine Richtung rechtwinklig zur Wandfläche versetzt ist.

Der vorstehend erwähnte Tintenstrahlkopf wird wie folgt betätigt. Das heißt, im Betrieb wird die Tintenammer in vorbereitender Weise mit Tinte gefüllt. Es sei angenommen, daß sich die Druckerzeugungsplatte in ihrem nicht versetzten Zustand befindet, in dem die den Druck erzeugende Platte flach ist. Zunächst versetzt die Verformungseinrichtung die Druckerzeugungsplatte in ihren versetzten Zustand, bei dem der mittige Bereich zwischen den beiden an der Wandfläche angeordneten Enden in die Richtung rechtwinklig zur Wandfläche versetzt wird. Durch diese Betätigungen wird innerhalb der Tintenammer ein Druck erzeugt und aufgrund dieses Druckes wird die Tintenflüssigkeit innerhalb der Tintenammer nach außerhalb der Kammer ausgestoßen und zwar durch die Tintenausstoßöffnung hindurch. Daraufhin löst die Verformungseinrichtung den versetzten Zustand der Druckerzeugungseinrichtung, um die Druckerzeugungsplatte in ihren nicht versetzten Zustand zurückzusetzen, in dem die Platte flach ist. Durch die Wiederholung einer solchen Versetzung beziehungsweise Verschiebung und die Rückversetzung der Druckerzeugungsplatte wird der Druckvorgang bewirkt.

Entsprechend diesem Tintenstrahlkopf verformt die Verformungseinrichtung die Druckerzeugungsplatte in einer Richtung senkrecht zu der Wandfläche und daher kann der mittige Bereich der Druckerzeugungsplatte in relativ großem Ausmaß versetzt werden. Aus diesem Grund können im Unterschied zu einem bekannten System mit einem piezoelektrischen Element die Abmessungen der Druckerzeugungsplatte und der Tintenammer klein ausgeführt werden, wodurch es der Tintenstrahlkopf erlaubt wird, eine geringe Größe einzunehmen. Darüber hinaus kann der Tintenstrahlkopf eine beträchtlich vereinfachte Struktur aufweisen, da die Druckerzeugungsplatte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüssigkeitsdicht abdichtet, während sie als Teil der Wandfläche fungiert. Zudem dichtet gemäß diesem Tintenstrahlkopf die Druckerzeugungsplatte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüssigkeitsdicht ab (die Fensteröffnung wird flüssigkeitsdicht gehalten, sogar wenn der mittige Bereich der Druckerzeugungsplatte in die Richtung senkrecht zur Wandfläche versetzt ist) und die Tinte bewegt sich nicht zur rückwärtigen Seite (entgegengesetzt zu einer der Tintenausstoßöffnung gegenüberliegenden Seite) der Druckerzeugungsplatte herum. Daher kann die Aus-

stoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte vergrößert werden. Weiterhin kann als die Verformungseinrichtung eine Einrichtung zur Aufbringung von Wärme auf die Druckerzeugungsplatte zur Verformung der Druckerzeugungsplatte durch die erzeugte Wärmeausdehnungskraft berücksichtigt werden und eine Einrichtung zur Verformung der Druckerzeugungsplatte durch eine elektrostatische Kraft oder eine elektromagnetische Kraft oder dergleichen. Wenn die Einrichtung zur Verformung der Druckerzeugungsplatte durch eine elektrostatische Kraft oder eine elektromagnetische Kraft verwendet wird, ist es selbstverständlich nicht erforderlich, eine Erwärmung durchzuführen. Wenn die Einrichtung zur Aufbringung von Wärme auf die Druckerzeugungsplatte zur Verformung der Druckerzeugungsplatte durch die erzeugte Wärmeausdehnungskraft verwendet wird, nimmt die Heiztemperatur höchstens 100°C ein. Das heißt, im Unterschied zu dem bekannten Bubble Jet System ist es nicht erforderlich, die Heiztemperatur auf eine extrem hohe Temperatur (1000°C) zu erhöhen. Daher wird eine hohe Zuverlässigkeit erzielt, damit der Tintenstrahlkopf eine vergrößerte Standzeit besitzt.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Druckerzeugungsplatte eine Ausbeulplatte, die in einen nicht versetzten Zustand gebracht werden kann, bei dem keine wesentliche thermische Spannung existiert und auch in einen ausgebeulten Zustand gebracht werden kann, in dem die Ausbeulplatte thermisch vergrößert wird, um sich auf eine Erwärmung hin auszubaulen und die Verformungseinrichtung eine Heizungsschicht ist, die an einer Oberfläche der Ausbeulplatte oder innerhalb der Ausbeulplatte parallel zu der Oberfläche vorgesehen ist und nach einer Spannungsversorgung Wärme erzeugt.

Der vorstehend erwähnte Tintenstrahlkopf wird die folgt betätigt. Das heißt, im Betrieb wird die Tintenkammer in vorbereitender Weise mit Tinte gefüllt. Es sei angenommen, daß sich die Ausbeulplatte in ihrem nicht versetzten Zustand befindet, in dem die Platte flach ist. Zuerst wird die Heizungsschicht mit Spannung versorgt, um erhitzt zu werden. Die Ausbeulplatte nimmt die Wärme von der Heizungsschicht auf, um aus ihrem nicht versetzten beziehungsweise ausgebeulten Zustand in ihren versetzten beziehungsweise ausgebeulten Zustand gebracht zu werden, in dem die Ausbeulplatte thermisch vergrößert wird, um sich auszubaulen. Durch diesen Vorgang wird innerhalb der Tintenkammer ein Druck erzeugt und aufgrund dieses Druckes wird die Tinte innerhalb der Tintenkammer nach außerhalb der Tintenkammer durch die Tintenausstoßöffnung ausgestoßen. Daraufhin wird die Versorgung der Heizungsschicht mit Spannung unterbrochen. Durch diesen Vorgang wird die Ausbeulplatte in ihren nicht versetzten Zustand zurückgebracht. Durch die Wiederholung einer solchen Versetzung und Zurückversetzung der Ausbeulplatte wird der Druckvorgang bewirkt.

Bei dem Tintenstrahlkopf ist die Ausbeulplatte derart ausgebildet, daß sie sich in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche ausbeult und zwar durch eine Erhitzung durch die Heizungsschicht und daher kann der mittige Bereich der Ausbeulplatte in relativ großem Ausmaß versetzt werden. Daher kann im Unterschied zu dem bekannten System mit einem piezoelektrischen Element der Tintenstrahlkopf kompakt ausgebildet werden, indem die Ausbeulplatte und die Tintenkammer klein gestaltet werden. Darüber hinaus dichtet die Ausbeulplatte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüs-

sigkeitsdicht ab, während sie als ein Teil der Wandfläche fungiert und daher ist es dem Tintenstrahlkopf gestattet, eine beträchtlich vereinfachte Struktur zu besitzen. Zudem dichtet gemäß diesem Tintenstrahlkopf die Ausbeulplatte die Fensteröffnung der Tintenkammer weitgehend flüssigkeitsdicht ab (die Fensteröffnung wird flüssigkeitsdicht gehalten sogar wenn der mittige Bereich der Ausbeulplatte in die Richtung senkrecht zur Wandfläche versetzt ist) und daher bewegt sich die Tinte nicht zur rückwärtigen Seite (entgegengesetzt zu der der Tintenausstoßöffnung gegenüberliegenden Seite) der Ausbeulplatte herum. Daher nehmen die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte zu. Weiterhin wird es der Heiztemperatur der Heizungsschicht gestattet, einen Wert von weitgehend höchstens 100°C einzunehmen, was bedeutet, daß eine solch extrem hohe Temperatur (1000°C) wie bei dem bekannten Bubble Jet System nicht erforderlich ist. Daher werden ein verringerter Leistungsbedarf und eine hohe Zuverlässigkeit erreicht, so daß die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes ansteigt.

Bei dem Tintenstrahlkopf nach einer Ausführungsform besitzt die Ausbeulplatte eine ovale Plattenform. Daher kann eine geringere Ausbeulenergie eine bestimmte Versetzung in die Richtung senkrecht zu der Wandfläche hervorrufen als in einem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine rechteckige Platte ist. Daher können eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei einem geringen Energieverbrauch erreicht werden. Darüber hinaus tritt im Unterschied zu dem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine rechteckige Platte ist, keine Spannungskonzentration innerhalb der Ausbeulplatte in dem Zustand auf, bei dem die Platte ausgebeult ist. Daher kann die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, so daß die Standzeit des Tintenstrahlkopfes weiter vergrößert wird.

Bei dem Tintenstrahlkopf nach einer Ausführungsform ist die Ausbeulplatte an dem Bereich zwischen den Endbereichen der Ausbeulplatte, die an der Wandfläche angeordnet beziehungsweise befestigt sind, bezüglich ihrer Dicke beziehungsweise Stärke teilweise reduziert und daher besitzt die Ausbeulplatte verglichen mit dem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke beziehungsweise Stärke aufweist, ein verringertes Volumen. Daher kann ein kleiner Einsatz an Energie die Temperatur der Ausbeulplatte auf eine bestimmte Temperatur erhöhen. Infolgedessen können eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit mit einem geringen Einsatz an Energie beziehungsweise Energieverbrauch erreicht werden. Darüber hinaus wird die Ausbeulplatte leichter verformt als es der Fall ist, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke aufweist und daher wird die Belastung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht reduziert. Daher kann die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, so daß die Standzeit des Tintenstrahlkopfes vergrößert wird.

Bei dem Tintenstrahlkopf nach einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß die Ausbeulplatte eine Scheibenform aufweist und ihr Umfangsbereich über ihren gesamten Umfang an der Wandfläche angeordnet ist, wobei die Heizungsschicht in einem Muster ausgebildet ist, welches von dem mittigen Bereich zum Umfangsbereich der Ausbeulplatte weitgehend radial erstreckt und die Ausbeulplatte an ihren Sektorbereich n, die zwischen den Mustern der Heizungsschicht vorliegen, eine Dicke aufweist, die dünner ist als bei einem von

den Sektorbereichen der Ausbeulplatte unterschiedlichen Bereich.

Gemäß dem vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopf besitzt die Ausbeulplatte eine Scheibenform und bezüglich der Dicke Rotationssymmetrie und daher kann eine weit geringere Ausbeulenergie eine bestimmte Versetzung in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche hervorrufen als es der Fall ist bei einer Ausbeulplatte Form ovaler Plattenform.

Zudem ist die Dicke des Sektorbereiches zwischen den Mustern der Heizungsschicht der Ausbeulplatte dünner ausgebildet als die Dicke des restlichen Bereiches der Ausbeulplatte, was bedeutet, daß die Ausbeulplatte ein geringeres Volumen aufweist als bei dem Fall, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke besitzt. Daher kann ein geringerer Einsatz an Energie die Temperatur der Ausbeulplatte auf eine bestimmte Temperatur ansteigen lassen. Als ein Ergebnis dieser Faktoren kann eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei kleinem Energiebedarf erreicht werden.

Darüber hinaus besitzt die Ausbeulplatte eine Scheiben-Plattenform und daher tritt keine Spannungskonzentration auf in dem Zustand, bei dem die Platte ausgebeult ist ähnlich demjenigen Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine ovale Plattenform besitzt. Darüber hinaus ist die Ausbeulplatte teilweise beziehungsweise bereichsweise bezüglich ihrer Dicke verringert ausgebildet und daher wird sie leichter verformt als bei einem Fall, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke besitzt. Daher wird die Standzeit des Tintenstrahlkopfes weiter vergrößert werden. Bei der Ausbeulplatte befindet sich der Sektorbereich, dessen Dicke verringert ist, zwischen den Mustern der Heizungsschicht. Daher wird der Sektorbereich durch die Heizungsschicht nicht direkt beheizt, wodurch die thermische Belastung des Sektorbereiches relativ klein ist. Daher verringert der Sektorbereich die Lebensdauer des gesamten Tintenstrahlkopfes aufgrund dessen Ermüdung nicht.

Nach einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes ist die Ausbeulplatte aus einem metallischen Werkstoff gefertigt. Im allgemeinen besitzt Metall einen großen Elastizitätsmodul, einen großen linearen Ausdehnungskoeffizienten und eine große thermische Leitfähigkeit und weist infolgedessen ein hohes Ausmaß an Verformbarkeit auf. Daher kann bei einer aus einem metallischen Werkstoff gefertigten Ausbeulplatte eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit gewonnen werden, wodurch es ermöglicht wird, den Frequenzgang zu verbessern. Zudem kann die Standzeit des Tintenstrahlkopfes verlängert werden.

Bei dem Tintenstrahlkopf ist es nach einer Ausführungsform vorgesehen, daß die Ausbeulplatte eine Scheibenform aufweist und ihr Umfangsbereich über den gesamten Umfang an der Wandfläche angeordnet ist und bei einem Werkstoff, der die Ausbeulplatte bildet, mit einem Elastizitätsmodul  $E$  (GPa), einem Poissonschen Beiwert  $\nu$  und einem Koeffizienten der linearen Ausdehnung  $\alpha$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), wobei die Ausbeulplatte einen Durchmesser  $D$  ( $\mu\text{m}$ ) besitzt und die Ausbeulplatte durch die Erwärmung mit der Heizungsschicht einer Temperaturveränderung ( $^{\circ}\text{C}$ ) ausgesetzt ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte dann innerhalb des Bereiches

$$0 < h < \{3\alpha t D^2(1+\nu)/(\pi^2+4c)\}^{1/2} \quad (\text{wobei } c=1.22 \text{ eine Konstante ist})$$

eingestellt ist, so daß die Ausbeulplatte eine Ausbeulen-

ergie zur Aufbringung eines Druckes auf die Tintenflüssigkeit innerhalb der Tintenkommer erzeugt.

Gemäß dem vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopf besitzt die Ausbeulplatte eine Scheibenform und ist über dem gesamten Umfang der Ausbeulplatte an der Wandfläche angeordnet. Weiterhin wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte innerhalb des folgenden Bereiches eingestellt:

$$0 < h < \{3\alpha t D^2(1+\nu)/(\pi^2+4c)\}^{1/2} \quad (\text{wobei } c=1.22 \text{ eine Konstante ist})$$

und daher kann die Ausbeulplatte eine Ausbeulenergie zur Aufbringung eines Druckes auf die Tintenflüssigkeit innerhalb der Tintenkommer erzeugen.

Gemäß einer Ausführungsform wird bei einem aus der Tintenausstoßöffnung auszustoßenden Tintentröpfchen mit einer Masse  $m$  (kg), einer Ausstoßgeschwindigkeit  $v$  (m/s) und einer Oberflächenausdehnung  $S$  ( $\mu\text{m}^2$ ), wobei die Tintenflüssigkeit eine Oberflächenspannung  $\sigma$  (N/m), einen Koeffizienten der Viskosität  $\mu$  (mPa·s) und eine Dichte  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) besitzt, und die Tintenausstoßöffnung (47a) eine Länge ( $\mu\text{m}$ ), einen Innendurchmesser  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) aufweist und ein Verlustfaktor  $\xi$  ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte (42) innerhalb eines Bereiches eingestellt, der dem folgenden Ausdruck genügt:

$$2EhD^2C_2/\pi^3(1-\nu^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2\rho + \xi mv^2/2$$

$$(\text{wobei } C_2 = \pi^2\{h^2(\pi^2+4c) - 3\alpha t D^2(1+\nu)\}/12D^2)$$

so daß die Ausbeulenergie eine zum Ausstoßen des Tintentröpfchens aus der Tintenkommer heraus erforderliche Energie überschreitet.

Bei dem vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopf wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte in einem Bereich eingestellt, der dem folgenden Ausdruck genügt:

$$2EhD^2C_2/\pi^3(1-\nu^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2\rho + \xi mv^2/2$$

$$(\text{wobei } C_2 = \pi^2\{h^2(\pi^2+4c) - 3\alpha t D^2(1+\nu)\}/12D^2)$$

und daher kann die Ausbeulenergie die zum Ausstoßen eines Tintentröpfchens aus der Tintenkommer heraus erforderliche Energie überschreiten. Es ist zu erwähnen, daß der linksseitige Ausdruck ( $2EhD^2C_2/\pi^3(1-\nu^2)$ ) die Ausbeulenergie darstellt. Der erste Term ( $mv^2/2$ ) auf der rechten Seite repräsentiert die kinetische Energie des Tintentröpfchens, der zweite Term ( $\sigma S$ ) des rechtsseitigen Ausdrucks repräsentiert die Energie, die zum Lösen des Tintentröpfchens aus der Oberflächenspannung heraus erforderlich ist, der dritte Term ( $32mv\mu/d^2\rho$ ) des rechtsseitigen Ausdrucks repräsentiert einen Energieverlust aufgrund von Reibung, wenn die Tinte durch die Tintenausstoßöffnung hindurchtritt und der vierte Term ( $\xi mv^2/2$ ) des rechtsseitigen Ausdrucks repräsentiert einen Energieverlust aufgrund der plötzlichen Kontraktion des Sektorbereiches, wenn die Tinte durch die Tintenausstoßöffnung hindurch tritt.

Gemäß einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte auf einen optimalen Wert  $h_s$  eingestellt, der ausgedrückt wird durch

$$h_s = \{3\alpha t D^2(1+\nu)/5(\pi^2+4c)\}^{1/2}$$

und daher kann die Ausbeulenergie maximiert werden.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgend wiedergegebenen detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die lediglich der Illustration halber beigefügten Zeichnungen näher erläutert werden, die keine Beschränkung darstellen und bei denen:

Fig. 1A und 1B Ansichten sind, die die Ausbildung eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen;

Fig. 2A und 2B Ansichten sind, die einen Zustand zeigen, bei dem eine Ausbeulplatte des vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopfes ausgebeult ist;

Fig. 3 eine perspektivische Explosionsdarstellung eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung ist;

Fig. 4A und 4B Ansichten sind, welche den vervollständigten Zustand des vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopfes zeigen;

Fig. 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F und 5G Ansichten sind, welche die Herstellungsverfahren des vorstehend erwähnten Tintenstrahlkopfes zeigen;

Fig. 6A und 6B Ansichten sind, die die Ausbildung eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer dritten Ausführungsform nach der vorliegenden Erfindung zeigen;

Fig. 7 eine Ansicht zur Erläuterung einer Spannungs-konzentration ist, die das Ausbeulen einer rechteckigen Ausbeulplatte und einer ovalen Ausbeulplatte begleitet;

Fig. 8A und 8B Ansichten sind, welche die Ausbildung eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer vierten Ausführungsform nach der folgenden Erfindung darstellen;

Fig. 9A und 9B Ansichten sind, welche die Ausbildung eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer fünften Ausführungsform nach der folgenden Erfindung darstellen;

Fig. 10A und 10B Ansichten sind, die ein Modell zur Analyse des Vorganges der Ausbeulung einer Ausbeulplatte zeigen;

Fig. 11 eine Ansicht ist, die einen Zustand zeigt, bei dem die in Fig. 10A und 10B dargestellte Ausbeulplatte ausgebeult ist;

Fig. 12 eine Graphik ist, die eine theoretische Veränderung einer potentiellen Energie darstellt, wenn der Betrag der Versetzung der Ausbeulplatte verändert wird;

Fig. 13 eine Graphik, die eine theoretische Veränderung einer Ausbeulenergie darstellt, wenn die Dicke der Ausbeulplatte verändert wird; und

Fig. 14 eine Ansicht zur Erläuterung eines Verfahrens zur Gewinnung des optimalen Wertes der Dicke der Ausbeulplatte ist.

Der Tintenstrahlkopf gemäß der vorliegenden Erfindung wird untenstehend auf der Basis von bevorzugten Ausführungsformen im Detail beschrieben werden.

#### Erste Ausführungsform

Fig. 1A zeigt in schematischer Weise eine Schnittansicht eines Tintenstrahlkopfes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, betrachtet in der Richtung des Ausstoßes der Tinte und Fig. 1B zeigt eine Schnittansicht entlang einer durch Pfeile 1B-1B in Fig. 1A dargestellten Linie. Dieser Tintenstrahlkopf 10 beinhaltet ein parallelepipedförmiges Gehäuse 5 mit einer rechteckigen Bodenplatte 5E und rechteckigen seitlichen Platten 5A, 5B, 5C und 5D sowie eine flache Düsenplatte 7, die als ein Deckel des Gehäuses 5 dient. Innerhalb des Gehäuses 5 ist eine Flanschplatte 4 vorgesehen, die eine Fensteröffnung 4a besitzt und parallel zu der Bodenplatte 5E verläuft. Die Flanschplatte 4 ist mit

einer Ausbeulplatte 2 versehen, die als eine Druck erzeugende Platte dient und zwar in einem Zustand, bei dem sie die Fensteröffnung 4a flüssigkeitsdicht abdichtet. Die Düsenplatte 7, die Flanschplatte 4 und die Ausbeulplatte 2 sowie Abschnitte der Seitenwände 5A, 5B, 5C und 5D des Gehäuses 5 oberhalb der Flanschplatte 4 bilden eine Tintenkammer 6a. Ein Bereich des Gehäuses 5 definiert einen Raum 6b unterhalb der Flanschplatte 4 und der Ausbeulplatte 2.

An einem etwa mittigen Bereich der Düsenplatte 7 ist eine Tintenausstoßöffnung 7a (in Fig. 1A ist die Düsenplatte 7 aus Gründen der Vereinfachung weggelassen und nur die Tintenausstoßöffnung 7a ist durch eine imaginäre Linie dargestellt) vorgesehen. Die Tintenausstoßöffnung 7a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, welche die Düsenplatte 7 durchsetzt und ihr Innendurchmesser wird so eingestellt, daß der sich von der Innenseite der Tinten-kammer zu der Außenseite hin allmählich verjüngt. Andererseits ist ein Bereich der Seitenwand 5D des Gehäuses 5 oberhalb der Flanschplatte 4 mit einem Tinteneinführeinlaß 5a zur Zuführung von Tinte von außen in das Innere der Tinten-kammer versehen. Der Tinteneinführeinlaß 5a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, welche die Seitenwand 5D durchsetzt und ihr Innendurchmesser ist so eingestellt, daß er sich von außerhalb der Tinten-kammer nach innerhalb allmählich verjüngt.

Die Ausbeulplatte 2 ist eine rechteckige Platte mit einer gleichförmigen Dicke und Abmessungen, die in diesem Beispiel geringfügig größer sind als diejenigen der Fensteröffnung 4a. Ein Umfangsbereich (d. h. ein sich mit der Flanschplatte 4 überlappenden Bereich) 2c der Ausbeulplatte 2 ist derart angeordnet, daß er über den gesamten Umfang an der Flanschplatte 4 haftet, um darauf befestigt zu werden. Die Ausbeulplatte 2 ist aus einem Werkstoff hergestellt, der in einen nicht versetzten Zustand verbracht werden kann, d. h. in einen ausgebeulten Zustand, bei dem weitgehend keine thermischen Spannungen auftreten und in einen versetzten Zustand, in dem sie durch eine Erwärmung thermisch vergrößert wird, um sich in eine Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 4 auszubeulen, wobei der Werkstoff beispielsweise ein Aluminiumoxid sein kann. Die Ausbeulplatte 2 spielt die Rolle einer Membran (Trennplatte) zur Abtrennung der Tinten-kammer 6a von dem unteren Raum 6b.

Innerhalb der Ausbeulplatte 2 ist eine Heizungsschicht 1 parallel zu der Oberfläche der Platte vorgesehen, die auf eine Elektrifizierung beziehungsweise Versorgung mit Spannung hin Wärme erzeugt. Die Heizungsschicht 1 ist aus einem metallischen Werkstoff mit einer beschränkten Leitfähigkeit (elektrischer Widerstand) gebildet, beispielsweise Ta (Tantal) und ist als ein Muster ausgebildet, in dem es in einer bandförmigen Form innerhalb der Fensteröffnung 4a der Ausbeulplatte 2 mäandriert und sich in einer Längsrichtung der Ausbeulplatte 2 erstreckt. Es ist festzuhalten, daß die Breite der Schwingung des mäandrierenden Musters der Heizungsschicht 1 konstant ist entsprechend der Breite der Fensteröffnung 4a. In Fig. 1A ist ein Elektroden-Anschlußstück 1a am rechtsseitigen Ende der Heizungsschicht 1 vorgesehen, während ein Elektroden-Anschlußstück 1b am linksseitigen Ende der Heizungsschicht 1 vorgesehen ist. Das Elektroden-Anschlußstück 1a am rechtsseitigen Ende ist mit einem Schalter 8 verbunden. Der Schalter 8 dient zum Schalten zwischen einer Spannungsquelle und der Erde. Das Elektroden-Anschlußstück 1b am linksseitigen Ende ist geerdet.

Der Tintenstrahlkopf 10 wird wie folgt betrieben.

(1) Im Betrieb wird zur Vorbereitung eine Tintenflüssigkeit 100 über den Tintenzuführereinlaß 5a in die Tintenkommer 6a eingeströmt. Durch diesen Vorgang wird die Tintenkommer 6a mit der Tinte gefüllt.

(2) Daraufhin wird der Schalter 8 zur Seite der Spannungsquelle 9 hin betätigt, wie es in Fig. 2A dargestellt ist, um die Spannung der Spannungsquelle 9 über die Elektroden 1a und 1b anzulegen, um die Heizungsschicht 1 mittels dieser Elektrifizierung zu beheizen. Nach dieser Wärmeaufnahme wird die Ausbeulplatte 2 thermisch vergrößert derart, daß sie versucht, sich innerhalb einer parallel zu der Plattenoberfläche verlaufenden Ebene aus dem nicht versetzten Zustand zu vergrößern. Da jedoch der Umfangsbereich der Ausbeulplatte 2 über dem gesamten Umfang an der Flanschplatte 4 festgelegt ist, kann sie sich nicht innerhalb der zu der Plattenoberfläche parallelen Ebene vergrößern, so daß sich innerhalb der Ausbeulplatte 2 als eine Reaktion hiergegen eine Druckkraft aufbaut. Wenn die Druckkraft eine Ausbeulast überschreitet, die vom Werkstoff, der Form und den Abmessungen der Ausbeulplatte 2 abhängig ist, verformt beziehungsweise beult sich die Ausbeulplatte 2 in einer Richtung rechtwinklig zur Flanschplatte 4 aus, wie es in Fig. 2B dargestellt ist, so daß die Ausbeulplatte 2 in einen Zustand verbracht wird, in dem der mittige Bereich 2a zur Seite der Düsenplatte 7 hin versetzt ist. Als eine Folge der Ausbeulung der Ausbeulplatte 2 wird innerhalb der Tintenkommer 6a ein Druck erzeugt. Durch diesen Druck wird die Tintenflüssigkeit 100 innerhalb der Tintenkommer 6a als ein Tintentropfen 100a durch die Tintenausstoßöffnung 7a der Düsenplatte 7 aus der Kammer nach außen ausgestoßen.

(3) Danach wird der Schalter 8 zur Seite der Erdung hin zurück betätigt, wie es in Fig. 1A dargestellt ist, um die Spannungsversorgung der Heizungsschicht 1 zu beenden. Daraufhin wird die Ausbeulplatte 2 abgekühlt, um sich zusammenzuziehen und in den ursprünglichen und nicht versetzten Zustand zurück verbracht zu werden. Durch eine Wiederholung einer solchen Versetzung und Zurückversetzung der Ausbeulplatte 2 wird ein Druckvorgang auf einem Papier zur Aufzeichnung bewerkstelligt.

Bei diesem Tintenstrahlkopf 10 wird die Ausbeulplatte 2 in die Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 4 durch die Erzeugung von Wärme durch die Heizungsschicht 1 ausgebeult beziehungsweise verformt und daher wird der mittige Bereich 2a der Ausbeulplatte 2 in relativ großem Ausmaß zur Seite der Düsenplatte 7 hin versetzt. Daher kann im Unterschied zu dem bekannten System mit einem piezoelektrischen Element der Tintenstrahlkopf durch die kleine Ausbildung der Ausbeulplatte 2 und der Tintenkommer 6a miniaturisiert werden. Darüber hinaus dichtet die Ausbeulplatte 2 die Fensteröffnung 4a der Flanschplatte 4 während der Betätigung als ein Teil der Wandfläche der Tintenkommer 6a in fluiddichter Weise ab und daher wird die Struktur des Tintenstrahlkopfes in beträchtlicher Weise vereinfacht. Zudem dichtet bei diesem Tintenstrahlkopf die Ausbeulplatte 2 die Fensteröffnung 4a der Flanschplatte 4 in fluiddichter Weise ab (die Fensteröffnung wird sogar dann fluiddicht gehalten, wenn der mittige Be-

reich 2a der Ausbeulplatte 2 zur Seite der Düsenplatte 7 hin versetzt ist). Daher bewegt sich die Tintenflüssigkeit 100 nicht zur rückwärtigen Seite 6b der Ausbeulplatte 2 herum, so daß die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte ansteigen. Darüber hinaus kann die Heizungsschicht 1 eine Heiztemperatur von höchstens etwa 100°C erzeugen, wie es durch ein nachfolgend beschriebenes Ausführungsbeispiel dargestellt wird und dies bedeutet, daß eine solch extrem hohe Temperatur (1000°C) nicht erforderlich ist, wie es bei dem bekannten Bubble Jet System der Fall ist. Daher werden ein geringerer Energieverbrauch und eine hohe Zuverlässigkeit erzielt, damit der Tintenstrahlkopf eine verlängerte Standzeit besitzt.

#### Zweite Ausführungsform

Fig. 3, 4A, 4B und 5A bis 5G zeigen einen Tintenstrahlkopf 20 vom Mehrfachtyp, der durch die gemeinsame Anordnung von vier Tintenstrahlköpfen ausgebildet wird.

Fig. 3 zeigt eine perspektivische Explosionsdarstellung des Tintenstrahlkopfes 20. Fig. 4A zeigt in schematischer Weise einen Querschnitt des Tintenstrahlkopfes 20, betrachtet in der Richtung des Ausstoßes der Tinte. Fig. 4B zeigt eine Schnittansicht entlang einer durch Pfeile 4B-4B in Fig. 4A angedeuteten Linie.

Wie es in Fig. 3 dargestellt ist, weist dieser Tintenstrahlkopf eine Druck erzeugende Einrichtung 15, eine Unterlegplatte 16, die als Seitenwände der vier Tintenkommer 16a dient und an der Druckerzeugungseinrichtung 15 angeordnet ist und eine Düsenplatte 17 auf, die als ein Deckel der Tintenkommer 16a dient.

Die Druckerzeugungseinrichtung 15 besitzt in einstückiger Weise ein Substrat 18, welches mit einem Film 13 zum Schutz der Oberfläche versehen ist, Ausbeulplatten 12b und 12t, die an dem Substrat 18 vorgesehen sind und eine Heizungsschicht 11, die entlang der Plattenoberfläche zwischen dem Ausbeulplatten 12b und 12t ausgebildet ist.

Das Substrat 18 ist aus einem Siliziumeinkristall mit einer Azimutfläche (100) gebildet. Das Substrat 18 besitzt eine näherungsweise rechteckige plattenförmige äußere Form und, wie es in Fig. 4A und 4B dargestellt ist, ist eine rechteckige Fensteröffnung 18a an der Mitte des Substrates 18 vorgesehen (und der die Oberfläche schützende Film 13). Es ist festzuhalten, daß die Fensteröffnung 18a so ausgebildet ist, daß sie sich bezüglich ihrer Abmessungen von der Seite der rückwärtigen Fläche zu der Seite der vorderen Fläche des Substrates allmählich verringert.

Die Ausbeulplatten 12b und 12t sind in diesem Beispiel aus einem Aluminiumoxid gefertigt. Wie es am besten aus Fig. 3 deutlich wird, besitzen die Ausbeulplatten 12b und 12t rechteckige plattenförmige Formen, jeweils mit einer gleichförmigen Dicke. Die Ausbeulplatte 12b nimmt die gesamte Fläche des Substrates 18 ein, wohingegen die Ausbeulplatte 12t derart ausgearbeitet ist, daß ihr in einer bandförmigen Fläche 18E entlang einer Vorderseitenfläche 18C (in Fig. 3) des Substrates angeordneter Bereich davon entfernt wird, um die Elektroden-Anschlußstücke 11a und 11b zu bilden, wie es nachfolgend beschrieben werden wird.

Die Heizungsschicht 11 ist aus einem metallischen Werkstoff mit einer begrenzten Leitfähigkeit (elektrischer Widerstand) gerichtet, d. h., Ta. Die Heizungsschicht 11 besitzt vier Wärme erzeugende Abschnitte 11c mit einem Muster, welches in einer bandförmigen

Form innerhalb einer Fläche mäandriert, die den Tinten-kammern entspricht, wobei streifenförmige unabhängige Abschnitte 11d für die Verdrahtung mit einem Ende der Wärme erzeugenden Abschnitte 11c verbunden sind und ein rahnenförmiger Abschnitt 11e für die Verdrahtung vorgesehen ist, der mit dem anderen Ende der Wärme erzeugenden Abschnitte 11c verbunden und entlang dreier Seiten 80A, 80B und 80D der Ausbeulplatte 12b angeordnet ist. Die Bereiche der unabhängigen Abschnitte 11d und des Abschnittes 11e zur Verdrahtung, die in der bandförmigen Fläche 18E vorliegen, werden als die Anschlußelektrode 11a für den Betrieb beziehungsweise als die gemeinsame Anschlußelektrode 11b freigelegt und zwar dadurch, daß die Ausbeulplatte 12t dort teilweise entfernt wird.

Die Unterlegplatte 16 wird beispielsweise aus einer Edelstahlplatte mit einer Dicke von 10 bis 50 µm hergestellt. Die Unterlegplatte 16 ist mit vier rechteckigen Öffnungen 16a versehen, die die Seitenwände der Tinten-kammern und die Tintenzufuhreinlässe 16b bilden, die mit den Tinten-kammern 16a in Verbindung stehen. Die Unterlegplatte 16 wird beispielsweise mittels eines Schneidvorgangs bearbeitet.

Die Düsenplatte 17 ist beispielsweise aus einem Glaswerkstoff mit einer Dicke von etwa 0,2 mm hergestellt. Die Düsenplatte 17 wird mit vier Tintenausstoßöffnungen 17a durch Ätzen mit beispielsweise einer Flußsäure ausgebildet. Die Tintenausstoßöffnungen 17a sind Durchgangsbohrungen beziehungsweise Durchgangslöcher, die die Düsenplatte 17 durchsetzen und sind jeweils mit einem Innendurchmesser ausgebildet, der sich von der hinteren zur vorderen Seite der Düsenplatte 17 allmählich verjüngt.

Wie es in Fig. 4A und 4B in einem vervollständigten Zustand dargestellt ist, wird die Unterlegplatte 16 in Haftung auf der Druckerzeugungseinrichtung 15 hergestellt und die Düsenplatte 17 wird mittels eines Klebmittels beziehungsweise Haftmittels in einer haftenden Verbindung auf der Unterlegplatte 16 angeordnet. Durch diese Anordnung werden die oberen und unteren Abschnitte der Öffnungen 16a der Unterlegplatte 16 durch die Düsenplatte 17 und die Ausbeulplatten 12b sowie 12t in weitgehend flüssigkeitsdichter Weise abgedichtet und bilden infolgedessen vier Tinten-kammern 16a. Die Ausbeulplatte 12t wird an der Unterlegplatte 16 über dem gesamten Umfang an ihren Abschnitten, die sich mit den Umfängen der Öffnungen 16a überdecken in einer haftenden Weise angeordnet und daran befestigt. Infolgedessen ist ein Tintenstrahlkopf gemäß der vorliegenden Erfindung an jeder der Tinten-kammern 16a vorgesehen.

Andererseits werden die Anschlußelektroden 11a, die an der bandförmigen Fläche 18E an dem Substrat 18 zugänglich sind, einzeln mit einem positiven (+) Anschluß einer Spannungsquelle 19 verbunden und zwar über einen Schalter 14, während die gemeinsame Anschlußelektrode 11b mit einem negativen (-) Anschluß der Spannungsquelle 19 verbunden ist.

Im Betrieb können die Wärme erzeugende Bereiche 11c der Heizungsschicht 11, die den Tinten-kammern 16a entsprechen, durch eine Betätigung der Schalter 14 unabhängig mit Spannung versorgt werden. Daher kann jeder Kopf unabhängig angetrieben beziehungsweise betätigt werden. Jeder Kopf arbeitet in einer Weise ähnlich dem in Fig. 1 dargestellten Tintenstrahlkopf 10, um dadurch dieselbe Wirkung zu erzielen.

Die Druckerzeugungseinrichtung 15 wird gemäß dem nachstehend detailliert dargestellten Verfahren herge-

stellt.

Zuerst wird, wie es in Fig. 5A dargestellt ist, an beiden Seiten des Einkristallsiliziumsubstrates 18 mit einer Azimutfläche (100) beispielsweise eine Schicht aus Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) (auf die nachfolgend als "PSG Schicht" Bezug genommen wird) 13 als ein die Oberfläche schützender Film mit einer Dicke von etwa 2 µm und einem Gehalt von 6 bis 8 Prozent an Phosphor (P) mit einem LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) Verfahren ausgebildet.

Danach wird, wie es in Fig. 5B dargestellt ist, beispielsweise ein Film aus Aluminiumoxid mit einer Dicke von 3 µm als die Ausbeulplatte 12b auf der PSG Schicht 13 an der Oberfläche des Substrates ausgebildet.

Danach wird, wie es in Fig. 5C dargestellt ist, beispielsweise ein Ta Film mit einer Dicke von etwa 0,1 µm als ein Stoff der Heizungsschicht 11 an der Ausbeulplatte 12b ausgebildet und der Ta Film wird so bearbeitet, daß er die Muster der Heizungsschicht 11 (siehe Fig. 3) besitzt.

Als nächstes wird, wie es in Fig. 5D dargestellt ist, ein Film aus Aluminiumoxid mit einer Dicke von etwa 3 µm als ein Werkstoff der Ausbeulplatte 12t an der Oberfläche der Ausbeulplatte 12b ausgebildet, wobei sich die Heizungsschicht 11 dazwischen gelagert befindet und der Aluminiumoxid-Film wird so bearbeitet, daß er die Muster zur Anordnung der Elektrodenbereiche der Heizungsschicht 11 besitzt.

Danach wird, wie es in Fig. 5E dargestellt ist, eine Öffnung 13a, die der Fensteröffnung 18 entspricht, an der PSG Schicht 13 an der rückwärtigen Oberfläche des Substrates gebildet.

Daraufhin wird, wie es in Fig. 5F dargestellt ist, eine verjüngte Fensteröffnung 18a ausgebildet, die das Substrat 18 durchsetzt und zwar durch die Ausführung eines anisotropen Ätzvorganges mittels einer wäßrigen Lösung von Kaliumhydrat, wobei die PSG Schicht 13 als eine Maske verwendet wird.

Schließlich wird, wie es in Fig. 5G gezeigt ist, ein Ätzvorgang ausgeführt unter Verwendung des Substrates 18 als eine Maske, um die PSG Schicht 13 an der Seite der hinteren Oberfläche und die PSG Schicht 13 an der Seite der vorderen Oberfläche des Substrates zu entfernen, welches innerhalb der Fensteröffnung 18a frei liegt. Durch diese Behandlung beziehungsweise Bearbeitung wird die Druckerzeugungseinrichtung 15 gewonnen.

Durch die Befestigung der Unterlegplatte 16 und der Düsenplatte 17 an der Druckerzeugungseinrichtung 15 kann ein Tintenstrahlkopf vom Mehrfachtyp beziehungsweise Vielfachtyp von kleinen Abmessungen und geringen Kosten hergestellt werden.

Es ist festzuhalten, daß das vorliegende Beispiel auf der Basis eines Anwendungsfalles erläutert worden ist, bei dem aus Gründen der Vereinfachung vier Köpfe verwendet worden sind, die Zahl der Köpfe ist jedoch nicht hierauf beschränkt und kann willkürlich beziehungsweise frei bestimmt werden.

Weiterhin wird bei dem geschilderten Beispiel als Werkstoff für die Ausbeulplatten 12b und 12t Aluminiumoxid eingesetzt. Die Ausbeulplatten 12b und 12t werden vorzugsweise aus dem nachfolgend beschriebenen Grund aus einem metallischen Werkstoff gefertigt. Es ist festzuhalten, daß, wenn ein metallischer Werkstoff für die Ausbeulplatten 12b und 12t verwendet wird, eine an der Grenzfläche zwischen ihnen und der Heizungsschicht 11 vorzusehende isolierende Schicht notwendig ist.



Bei jeder der vorstehend erwähnten Ausführungsformen wird eine rechteckige plattenförmige Ausbeulplatte eingesetzt, jedoch ist die Form der Ausbeulplatte nicht hierauf beschränkt.

Beispielsweise kann, wie es in Fig. 6A und 6B dargestellt ist, eine zu einer ovalen scheibenförmigen Form mit einer gleichförmigen Dicke ausgebildete Ausbeulplatte verwendet werden. Fig. 6A zeigt in schematischer Weise einen Querschnitt eines Tintenstrahlkopfes 30 mit einer solchen Ausbeulplatte 22 und zwar in einer Richtung des Ausstoßes der Tinte gesehen. Fig. 6B zeigt eine Schnittansicht entlang einer durch Pfeile 6B-6B in Fig. 6A dargestellten Linie. Dieser Tintenstrahlkopf 30 ist eine Modifikation des Tintenstrahlkopfes, wie er in Fig. 1 dargestellt ist, und seine Hauptbestandteile werden durch Bezugszeichen bezeichnet, die durch einen Hinzufügung der Zahl 20 zu den entsprechenden in Fig. 1 dargestellten Bezugszeichen gebildet werden.

Dieser Tintenstrahlkopf 30 besitzt ein Gehäuse 25, welches eine ovale scheibenförmige untere Platte 25E und eine im Schnitt ovale rohrförmige Seitenwand 25B besitzt und weist eine Form entsprechend der Form der Ausbeulplatte 22 auf und eine flache Düsenplatte 27, die als ein Deckel des Gehäuses 25 dient. Innerhalb des Gehäuses 25 ist eine Flanschplatte 24 mit einer ovalen Fensteröffnung 24a parallel zu der Bodenplatte 25e vorgesehen. Die Flanschplatte 24 wird mit der Ausbeulplatte 22 angeordnet, die als eine Druck erzeugende Platte dient, während sie die Fensteröffnung 24a in fluidichter Weise abdichtet.

Die Düsenplatte 27, die Flanschplatte 24, die Ausbeulplatte 22 und ein oberer Bereich der Seitenwand 25B des Gehäuses 25 oberhalb der Flanschplatte 24 bilden eine Tintenkommer 26a. Ein innerer Bereich des Gehäuses 25 unterhalb der Flanschplatte 24 und der Ausbeulplatte 22 begrenzt einen Raum 26b.

An einem etwa mittigen Bereich der Düsenplatte 27 ist eine Tintenausstoßöffnung 27a vorgesehen (in Fig. 6A ist die Düsenplatte 27 aus Gründen der Vereinfachung weggelassen und nur die Tintenausstoßöffnung 27a ist durch eine strichpunktierte Linie angedeutet). Die Tintenausstoßöffnung 27a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, welche die Düsenplatte 27 durchsetzt und ihr Innendurchmesser ist so bemessen, daß er sich von der Innenseite der Tintenkommer zur Außenseite hin allmählich verringert. Andererseits ist ein Abschnitt der Seitenwand 25B des Gehäuses 25 oberhalb der Flanschplatte 24 mit einem Einlaß 25a zur Zuführung von Tinte in die Tintenkommer von außen her versehen. Der Tintenzufuhreinlaß 25a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, die die Seitenwand 25b durchsetzt und ihr innerer Durchmesser ist so bemessen, daß der sich von der Außenseite der Tintenkommer zur Innenseite hin allmählich verringert.

Die Ausbeulplatte 22 ist eine ovale Platte mit einer gleichförmigen Dicke und Abmessungen, die geringfügig größer sind als die Abmessungen der vorstehend beschriebenen Fensteröffnung 24a. Ein Umfangsbereich (d. h., ein Bereich, der sich mit der Flanschplatte 24 überlappt) 22c der Ausbeulplatte 22, ist über dem gesamten Umfang zur Haftung an der Flanschplatte 24 angeordnet, um daran befestigt zu werden. Die Ausbeulplatte 22 ist aus einem Werkstoff hergestellt, der in einen nicht versetzten Zustand verbracht werden kann, bei dem weitgehend keine Temperaturspannung vorliegt und auch in einen ausgebeulten Zustand, bei dem die Platte

thermisch vergrößert wird durch eine Erhitzung, um sich in eine Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 24 auszubulen, wobei der Werkstoff beispielsweise Aluminiumoxid ist. Die Ausbeulplatte 22 spielt die Rolle einer Membran (Trennplatte) zur Trennung der Tintenkommer 26a von dem unteren Raum 26b.

Innerhalb der Ausbeulplatte 22 ist eine Heizungsschicht 21 parallel zu der Oberfläche der Platte vorgesehen, die auf eine Elektrifizierung beziehungsweise Versorgung mit Spannung hin Wärme erzeugt. Die Heizungsschicht 1 ist aus einem metallischen Werkstoff mit einer beschränkten Leitfähigkeit (elektrischer Widerstand) gebildet, beispielsweise Ta (Tantal) und ist als ein Muster ausgebildet, in dem es in einer bandförmigen Form innerhalb der Fensteröffnung 24a der Ausbeulplatte 22 mäandriert und sich in einer Längsrichtung der Ausbeulplatte 22 erstreckt. Es ist festzuhalten, daß die Breite der Schwingung des mäandrierenden Musters der Heizungsschicht 21 derart bemessen ist, daß sie am mittigen Bereich groß ist und klein ist an beiden Enden, die der Abmessung der Fensteröffnung 24a entsprechen. In Fig. 6A ist ein Elektroden-Anschlußstück 21a am rechtsseitigen Ende der Heizungsschicht 21 vorgesehen, während ein Elektroden-Anschlußstück 21b am linksseitigen Ende vorgesehen ist. Das Elektroden-Anschlußstück am rechtsseitigen Ende ist mit einem Schalter 28 verbunden. Der Schalter 28 dient zum Schalten zwischen einer Spannungsquelle und der Erde. Das Elektroden-Anschlußstück 21b am linksseitigen Ende ist geerdet.

Dieser Tintenstrahlkopf 30 arbeitet in ähnlicher Weise wie der in Fig. 1 dargestellte Tintenstrahlkopf 10, um die gleiche Wirkung hervorzurufen.

Darüber hinaus kann, da die Ausbeulplatte 22 eine ovale scheibenförmige Form besitzt, eine kleinere Ausbeulenergie eine vorbestimmte Versetzung beziehungsweise Ausbeulung in die Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 24 erzeugen als es der Fall ist, wenn die Platte eine rechteckige Form besitzt. Daher können eine größere Ausstoßkraft und eine größere Ausstoßgeschwindigkeit bei einem kleinen Energieverbrauch gewonnen werden.

Weiterhin tritt, da die Ausbeulplatte 22 eine ovale scheibenförmige Form besitzt, keine Spannungskonzentration in dem ausgebeulten Zustand auf im Unterschied zu dem Fall, wenn die Platte eine rechteckige Form aufweist. Daher kann die Standzeit des Tintenstrahlkopfes weiter vergrößert werden. Unter Bezugnahme auf Fig. 7 betrachten wir nun als die Ausbeulplatte beispielsweise eine rechteckige Platte 2 und eine ovale Platte 22 mit denselben Abmessungen in der Längsrichtung und der Querrichtung (die Abmessungen der kürzeren Seite und der längeren Seite der rechteckigen Platte 2 sind gleich denjenigen der Nebenachse beziehungsweise der Hauptachse der ovalen Platte 22). In diesem Fall wird, wenn die mittigen Abschnitte 2a und 22a der rechteckigen Platte 2 und der ovalen Platte 22 in eine Richtung rechtwinklig zu der Oberfläche nach Fig. 8 versetzt werden, eine große Spannungskonzentration an den Eckbereichen 2d der rechteckigen Platte 2 erzeugt, wohingegen in der ovalen Platte 22 keine derartige Spannungskonzentration auftritt, da sie keinen solchen Eckbereich besitzt. Daher können die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, so daß die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes weiter vergrößert werden kann.



Die Ausbeulplatte besitzt eine gleichförmige Dicke bei jeder der vorstehend erwähnten Ausführungsformen, jedoch muß die Ausbeulplatte nicht immer eine solche gleichförmige Dicke aufweisen.

Wie es beispielsweise in Fig. 8A und 8B dargestellt ist, kann die Dicke der Ausbeulplatte teilweise verringert werden. Fig. 8A zeigt in schematischer Weise einen Querschnitt eines Tintenstrahlkopfes 40 mit einer solchen Ausbeulplatte 32, betrachtet in die Richtung des Ausstoßes der Tinte. Fig. 8B zeigt in schematischer Weise einen Schnitt in Längsrichtung des Tintenstrahlkopfes 40. Der Tintenstrahlkopf 40 ist eine Modifikation des in Fig. 1 dargestellten Tintenstrahlkopfes, wobei die Hauptbauteile durch Bezugszeichen bezeichnet sind, die durch Hinzufügung der Zahl 30 zu den entsprechenden in Fig. 1 dargestellten Bezugszeichen gewonnen werden.

Dieser Tintenstrahlkopf 40 besitzt genau das gleiche Gehäuse 35 und die Düsenplatte 37 wie das Gehäuse 5 und die Düsenplatte 7, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind. Innerhalb des Gehäuses 35 ist eine Flanschplatte 34 vorgesehen mit einer rechteckigen Fensteröffnung 34a parallel zu der Bodenplatte 35E. Die Flanschplatte 34 wird mit einer Ausbeulplatte 32 angeordnet, die als eine Druck erzeugende Platte dient, während sie in flüssigkeitsdichter Weise die Fensteröffnung 34a abdichtet. Die Ausbeulplatte 32 ist eine rechtwinklige Platte mit Abmessungen, die geringfügig größer sind als diejenigen der Fensteröffnung 34a und sie besitzt eine rechtwinklige Fläche 32b mit einer Dicke, die kleiner ist als diejenigen des restlichen Bereiches an jedem Eckbereich. Ein Umfangsbereich (d. h. ein sich mit der Flanschplatte 34 überlappende Bereich) 32c der Ausbeulplatte 32 ist zur Haftung an der Flanschplatte 34 ausgebildet und zwar über dem gesamten Umfang, um daran befestigt zu werden. Der Werkstoff der Ausbeulplatte 32, der Werkstoff und das Muster der Heizungsschicht 31 und die übrige Ausbildung sind die gleichen wie diejenigen des in Fig. 1 dargestellten Tintenstrahlkopfes 10.

Dieser Tintenstrahlkopf 40 arbeitet in ähnlicher Weise wie der in Fig. 1 dargestellte Tintenstrahlkopf 10, um die gleiche Wirkung hervorzurufen.

Da weiterhin die Ausbeulplatte 32 an den Flächen 32b der Ecken bezüglich der Stärke beziehungsweise Dicke teilweise reduziert ausgebildet ist, besitzt die Ausbeulplatte 32 ein verringertes Volumen verglichen mit dem Fall, bei den die Ausbeulplatte eine gleichförmige Stärke beziehungsweise Dicke aufweist. Daher kann ein geringerer Energieverbrauch die Temperatur der Ausbeulplatte 32 auf eine vorbestimmte Temperatur ansteigen lassen. Infolgedessen können eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei niedrigem Energieverbrauch gewonnen werden.

Weiterhin kann die Ausbeulplatte 32 leichter verformt werden als in dem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke aufweist und daher kann die Belastung der Ausbeulplatte 32 und der Heizungsschicht 31 verringert werden. Daher können die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, damit die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes vergrößert werden kann.

#### Fünfte Ausführungsform

Fig. 9A und 9B zeigen einen Tintenstrahlkopf 50 mit einer Ausbeulplatte 42, die eine scheibenförmige Form

besitzt und eine teilweise verringerte Dicke aufweist.

Fig. 9A zeigt in schematischer Weise einen Querschnitt des Tintenstrahlkopfes 50 mit einer solchen Ausbeulplatte 42, betrachtet in der Richtung des Ausstoßes der Tinte. Fig. 9B zeigt eine Schnittansicht entlang einer Linie, die durch Pfeile 9B-9B in Fig. 9A angedeutet ist. Der Tintenstrahlkopf 50 ist eine Modifikation des in Fig. 1 dargestellten Tintenstrahlkopfes, wobei die Hauptbauteile durch Bezugszeichen bezeichnet sind, die durch Hinzufügung der Zahl 40 zu den entsprechenden in Fig. 1 dargestellten Bezugszeichen gewonnen werden.

Entsprechend der Form der Ausbeulplatte 42 weist dieser Tintenstrahlkopf 50 ein Gehäuse 45 auf, welches eine scheibenförmige Bodenplatte 45E besitzt und eine kreisförmige rohrförmige Seitenwand 45B aufweist und eine flache Düsenplatte 47 besitzt, die als ein Deckel des Gehäuses 45 dient. Innerhalb des Gehäuses 45 ist eine Flanschplatte 44 mit einer kreisförmigen Fensteröffnung 44a parallel zu der Bodenplatte 45E vorgesehen. Diese Flanschplatte 44 wird zusammen mit der Ausbeulplatte 42 angeordnet, die als eine Druck erzeugende Platte dient, während sie in flüssigkeitsdichter Weise die Fensteröffnung 44a abdichtet. Die Düsenplatte 47, die Flanschplatte 44, die Ausbeulplatte 42 und ein oberer Abschnitt der Seitenwand 45B des Gehäuses 45 oberhalb der Flanschplatte 44 bilden eine Tintenkanne 46a. Ein innerer Bereich des Gehäuses 45 unterhalb der Flanschplatte 44 und der Ausbeulplatte 42 begrenzen einen Raum 46b.

An einem etwa mittigen Bereich der Düsenplatte 47 ist eine Tintenausstoßöffnung 27a vorgesehen (in Fig. 9A ist die Düsenplatte 47 aus Gründen der Vereinfachung weggelassen und nur die Tintenausstoßöffnung 47a ist durch eine strichpunktierte Linie angedeutet). Die Tintenausstoßöffnung 47a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, welche die Düsenplatte 47 durchsetzt und ihr Innendurchmesser ist so bemessen, daß er sich von der Innenseite der Tintenkanne zur Außenseite hin allmählich verringert. Andererseits ist ein Abschnitt der Seitenwand 45B des Gehäuses 45 oberhalb der Flanschplatte 44 mit einem Einlaß 45a zur Zuführung von Tinte in die Tintenkanne von außen her versehen. Der Tintenzuführeinlaß 45a ist eine im Schnitt kreisförmige Durchgangsbohrung, die die Seitenwand 45b durchsetzt und ihr innerer Durchmesser ist so bemessen, daß er sich von der Außenseite der Tintenkanne zur Innenseite hin allmählich verringert.

Die Ausbeulplatte 42 ist eine kreisförmige Platte mit Abmessungen, die geringfügig größer sind als die Abmessungen der vorstehend beschriebenen Fensteröffnung 44a. Ein Umfangsbereich (d. h. ein Bereich, der sich mit der Flanschplatte 44 überlappt) 42c der Ausbeulplatte 42 ist über dem gesamten Umfang zur Haftung an der Flanschplatte 44 angeordnet, um daran befestigt zu werden. Die Ausbeulplatte 42 ist aus einem Werkstoff hergestellt, der in einen nicht versetzten Zustand verbracht werden kann, bei dem weitgehend keine Temperaturspannung vorliegt und auch in einen ausgebeulten Zustand, bei dem die Platte thermisch vergrößert wird durch eine Erhitzung, um sich in eine Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 44 auszubeulen, wobei der Werkstoff beispielsweise Aluminiumoxid ist. Die Ausbeulplatte 42 spielt die Rolle einer Membran (Trennplatte) zur Trennung der Tintenkanne 46a von dem unteren Raum 46b.

Innerhalb der Ausbeulplatte 42 ist eine Heizungsschicht 41 parallel zu der Plattenoberfläche vorgesehen,

die auf die Versorgung mit Spannung hin Wärme erzeugt. Die Heizungsschicht 41 ist aus einem metallischen Werkstoff mit einer begrenzten Leitfähigkeit (elektrischer Widerstand) gefertigt, beispielsweise Ta (Tantal) und ist in der Form eines Musters ausgebildet, welches sich weitgehend radial von dem mittigen Bereich 42a der Ausbeulplatte 42 erstreckt. Im Detail besitzt die Heizungsschicht 41 acht Wärme erzeugende Bereiche 41c mit einem Muster, welches vom mittigen Bereich 42a der Ausbeulplatte 42 zum Umfangsbereich 42c der Ausbeulplatte 42 mit einer bestimmten Schwingungsbreite mäandriert. Winkel zwischen benachbarten Wärme erzeugenden Bereichen 41c sind gleichförmig auf 45° eingestellt. An den äußeren Enden der Wärme erzeugenden Bereiche 41c sind Anschlußelektroden 41a vorgesehen. Innere Enden 41b der Wärme erzeugenden Bereiche 41c sind gemeinsam angebonden. In Fig. 9A sind vier Anschlußelektroden 41a an der rechten Seite mit einem Schalter 48 verbunden. Der Schalter dient zum Schalten zwischen einer Spannungsquelle 49 und der Erde. In Fig. 9A sind vier Anschlußelektroden 41b an der linken Seite geerdet.

Die Dicke jedes Sektorbereiches 42b zwischen den Wärme erzeugenden Abschnitten 41c der Heizungsschicht ist dünner ausgebildet als die Dicke des restlichen Bereiches der Ausbeulplatte 42.

Dieser Tintenstrahlkopf 50 arbeitet in einer zu dem in Fig. 1 dargestellten Tintenstrahlkopf 10 ähnlichen Weise, um dadurch die selbe Wirkung zu ermöglichen.

Darüber hinaus kann, da die Ausbeulplatte 42 eine kreisförmige, einer Scheibe ähnliche Form und bezüglich der Dicke Rotationssymmetrie aufweist, eine geringere Ausbeulenergie eine bestimmte Versetzung in die Richtung rechtwinklig zu der Flanschplatte 44 hervorrufen als es der Fall ist, wenn die Platte eine ovale scheibenförmige Form besitzt. Zudem ist die Dicke der Sektorbereiche 42b zwischen den Mustern der Heizungsschicht 41 der Ausbeulplatte 42 dünner als die Dicke des restlichen Bereiches der Ausbeulplatte 42 ausgebildet. Aus diesem Grund besitzt die Ausbeulplatte 42 ein kleineres Volumen als es der Fall ist, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke aufweist und dies ermöglicht es einen kleinen Energieverbrauch die Temperatur der Ausbeulplatte 42 auf eine bestimmte Temperatur ansteigen zu lassen. Als eine Folge dieser Faktoren können eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei nur geringem Energieverbrauch gewonnen werden.

Da darüber hinaus die Ausbeulplatte 42 eine kreisförmige, einer Scheibe ähnliche Form besitzt, tritt keine Spannungskonzentration innerhalb der Ausbeulplatte 42 in dem ausgebeulten Zustand auf ähnlich dem Fall, bei dem die Platte eine ovale scheibenförmige Form aufweist. Zudem ist die Ausbeulplatte 42 hinsichtlich ihrer Dicke teilweise reduziert ausgebildet und daher ist sie leichter verformbar als es der Fall ist, bei dem die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke aufweist, was zu einer Verringerung der Spannung beziehungsweise Belastung führt. Daher kann die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes weiter verlängert werden. Bei der Ausbeulplatte 42 liegen die Sektorbereiche 42b, deren Dicke verringert ist, zwischen den Wärme erzeugenden Bereichen 41c der Heizungsschicht 41 vor. Daher werden die Sektorbereiche 42b von den Wärme erzeugenden Bereichen 41c nicht direkt erwärmt, wodurch die thermische Belastung der Sektorbereiche 42b relativ klein ausfällt. Daher verringert der Sektorbereich 42b die Lebensdauer des gesamten Tintenstrahlkopfes aufgrund

seiner Ermüdung nicht.

#### Sechste Ausführungsform

Untenstehend wird der Mechanismus der Ausbeulung, wenn die kreisförmige und einer Scheibe ähnliche Platte einer Temperaturveränderung unterworfen wird, in quantitativer Hinsicht erläutert werden.

Fig. 10A und 10B zeigen ein Modell der kreisförmigen, einer Scheibe ähnlichen Platte für die Analyse (wobei 10A eine in einer Richtung rechtwinklig zu der Oberfläche der Platte betrachtete Ausbeulplatte 52 zeigt, während Fig. 10B eine Schnittansicht entlang einer Linie 10B-10B nach Fig. 10A darstellt). Die Ausbeulplatte 52 ist eine kreisförmige Scheibe mit einer gleichförmigen Dicke und ein Umfangsbereich 52c der Ausbeulplatte 52 ist an einer tragenden Einrichtung 54 festgelegt. Wenn eine Temperaturveränderung (Anstieg der Temperatur)  $t$  durch eine Heizungsschicht (nicht dargestellt) auf diese Ausbeulplatte 52 ausgeübt wird, dann wird die Ausbeulplatte 52 zu einem Zustand verformt, bei dem ihr mittiger Abschnitt 52a die größte Versetzung erfährt (auf den Betrag des Versatzes am mittigen Bereich 52a der Ausbeulplatte 52 wird nachfolgend einfach als "Betrag des Versatzes der Ausbeulplatte" Bezug genommen). In diesem Fall kann eine potentielle Energie  $U$  der verformten Ausbeulplatte durch die nachfolgende Gleichung (1) ausgedrückt werden.

$$U = \pi E h (C_1 \delta^4 + C_2 \delta^2 + C_3) / 4(1 - \nu^2) \quad (1)$$

wobei

$$\begin{aligned} C_1 &= \pi^4 / 32 D^2, \\ C_2 &= \pi^2 [h^2 (\pi^2 + 4c) - 3 \alpha D^2 (1 + \nu)] / 12 D^2, \text{ und} \\ C_3 &= \alpha^2 t^2 D^2 (1 + \nu), \end{aligned}$$

wobei  $E$  der Elastizitätsmodul der Ausbeulplatte ist,  $\nu$  die Poissonsche Zahl der Ausbeulplatte ist,  $D$  der Durchmesser der Ausbeulplatte ist,  $h$  die Dicke der Ausbeulplatte ist,  $\alpha$  der lineare Ausdehnungskoeffizient der Ausbeulplatte ist,  $\delta$  der Betrag des Versatzes der Ausbeulplatte ist und  $c$  eine Konstante ( $= 1.22$ ) ist.

Wenn in der Gleichung (1) der Betrag des Versatzes  $\delta$  der Ausbeulplatte verändert wird, dann verändert sich ihre potentielle Energie  $U$  typischerweise auf eine in Fig. 12 gezeigte Weise. Bei der in Fig. 12 dargestellten Weise nimmt die potentielle Energie  $U$  ihren minimalen Wert  $U_2$  ein, wenn  $\delta$  einen Grenzwert  $\delta_c$  einnimmt. Die Ausbeulplatte nimmt in einem Zustand, in dem sie den minimalen Wert  $U_2$  einnimmt, eine Ruheposition beziehungsweise Gleichgewichtsstellung ein. Der Betrag des Versatzes  $\delta_c$  kann in diesem Fall durch die Aufstellung eines Differentialquotienten von  $U$  bezogen auf  $\delta$  zu Null gewonnen werden und wird durch die nachfolgende Gleichung (2) ausgedrückt.

$$\delta_c = 4(-D^2 C_2 / \pi^4)^{1/2} \quad (2)$$

Das Innere der quadratischen Wurzel des rechten Gliedes muß immer positiv sein und daher ist es erforderlich, daß die nachfolgende Gleichung (3) bezüglich der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte erfüllt ist.

$$0 < h < \{3 \alpha D^2 (1 + \nu) / (\pi^2 + 4c)\}^{1/2} \quad (3)$$

In diesem Fall drückt die Gleichung (3) einen Bereich der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte aus, um eine Ausbeulenergie als eine Voraussetzung zur Bewirkung eines Ausstoßes von Tinte zu gewinnen. Unter der Annahme, daß die potentielle Energie  $U_1$  ist, wenn der Betrag des Versatzes  $\delta$  der Ausbeulplatte Null ist, wird die Ausbeulenergie durch  $(U_1 - U_2)$  ausgedrückt und dies wird zu einer Energie, die der Tinte auferlegt wird. Die Ausbeulenergie  $(U_1 - U_2)$  wird durch die folgende Gleichung (4) ausgedrückt.

$$U_1 - U_2 = 2EhD^2C_2^2/\pi^2(1-\nu^2) \quad (4)$$

In dieser Gleichung (4) verändert sich die Ausbeulenergie  $(U_1 - U_2)$  auf eine in Fig. 13 dargestellte Weise, wenn die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte verändert wird. Der Bereich von  $h$ , in dem die Ausbeulenergie  $(U_1 - U_2)$  positiv ist, ist der durch die Gleichung (3) ausgedrückte Bereich.

Darüber hinaus existiert, wie es aus Fig. 13 ersichtlich ist, ein optimaler Wert  $h_s$ , der die Ausbeulenergie  $(U_1 - U_2)$  innerhalb des durch die Gleichung (3) ausgedrückten Bereiches von  $h$  maximiert. Der optimale Wert  $h_s$  kann durch die Aufstellung des Differentialquotienten von  $(U_1 - U_2)$  bezogen auf  $h$  in der Gleichung (4) zu Null gewonnen werden und wird durch die nachfolgende Gleichung (5) ausgedrückt.

$$h_s = \{3\alpha t D^2(1+\nu)/5(\pi^2 + 4\alpha)\}^{1/2} \quad (5)$$

Andererseits wird eine Energie  $U_T$ , die zum Ausstoßen eines Tintentropfens benötigt wird, durch die nachfolgende Gleichung (6) angegeben und zwar als eine Summe der kinetischen Energie des Tintentropfens, einer zum Lösen des Tintentropfens aus seiner Oberflächenspannung erforderlichen Oberflächenenergie, einem Reibungsverlust, wenn der Tintentropfen durch die Tintenausstoßöffnung hindurchtritt und einer Verlustenergie aufgrund einer plötzlichen Kontraktion einer Querschnittsfläche der Tinte, wenn die Tinte durch die Tintenausstoßöffnung hindurch tritt.

$$U_T = mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2p + \zeta mv^2/2 \quad (6)$$

wobei

$m$  die Masse des Tintentropfens ist  
 $v$  die Ausstoßgeschwindigkeit des Tintentropfens ist  
 $S$  die Oberfläche des Tintentropfens ist  
 $\sigma$  die Oberflächenspannung der Tinte ist  
 $\mu$  der Koeffizient der Viskosität der Tinte ist  
 $p$  die Dichte der Tinte ist  
 $l$  die Länge der Tintenausstoßöffnung ist  
 $d$  der Innendurchmesser der Tintenausstoßöffnung ist  
 und  
 $\zeta$  ein Verlustfaktor ist.

In diesem Fall muß, um den Tintentropfen aus der Tintenausstoßöffnung auszustoßen, die der Tinte auferlegte Energie  $(U_1 - U_2)$  größer sein als die erforderliche Energie  $U_T$ , d. h., sie muß der folgenden Gleichung (7) genügen.

$$(U_1 - U_2) > U_T$$

Durch Einsetzen der Gleichungen (4) und (6) in die Gleichung (7) wird die nachfolgende Gleichung (8) gewonnen.

$$2EhD^2C_2^2/\pi^2(1-\nu^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2p + \zeta mv^2/2 \quad (8)$$

Durch die Einstellung der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte innerhalb eines Bereiches, der der Gleichung (8) genügt, kann der Tintentropfen tatsächlich aus der Tintenausstoßöffnung ausgestoßen werden.

Darüber hinaus macht Gleichung (4) deutlich, daß ein Werkstoff mit einem großen Elastizitätsmodul und einem großen linearen Ausdehnungskoeffizienten für die Ausbeulplatte geeignet ist, um die Ausbeulenergie zu erhöhen. Zudem wird es bevorzugt, einen Werkstoff mit einer großen Wärmeleitfähigkeit zu verwenden, um eine verbesserte Charakteristik der Antwort auf eine Frequenz zu erhalten, indem die Geschwindigkeit der Erwärmung und der Abkühlung der Ausbeulplatte vergrößert wird. Um darüber hinaus das mögliche Auftreten einer Beschädigung der Ausbeulplatte aufgrund einer Ermüdung zu unterdrücken, während der Betrag des Versatzes der Ausbeulplatte vergrößert wird, wird es bevorzugt, einen Werkstoff zu verwenden, der ein großes Maß an Verformbarkeit besitzt. Wenn man die vorstehend erwähnten Bedingungen in einer Zusammenfassung betrachtet, dann wird vorzugsweise ein Metall als Werkstoff für die Ausbeulplatte verwendet.

Auf der Basis der vorstehend erwähnten Gleichungen wird untenstehend die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte, die für das Ausstoßen der Tinte geeignet ist, gewonnen. Es wird angenommen, daß der Werkstoff für die Ausbeulplatte Nickel ist und die Temperaturveränderung  $t$  100°C beträgt. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß die Parameter die nachfolgenden Werte aufweisen:

$$\begin{aligned} \sigma &= 60 \times 10^{-3} \text{ N/m} \\ \mu &= 2\text{cP} = 2\text{mPa}\cdot\text{s} \\ \rho &= 1050 \text{ kg/m}^3 \\ l &= 100 \mu\text{m} \\ d &= 30 \mu\text{m} \\ \zeta &= 0.5 \\ \alpha &= 13.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \\ E &= 210 \text{ GPa} \\ \nu &= 0.306, \text{ und} \\ D &= 250 \mu\text{m} \end{aligned}$$

In diesem Fall beträgt die zum Ausstoßen eines Tintentropfens von 50  $\mu\text{m}$  mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s erforderliche Energie  $U_T$  gemäß Gleichung (6) 10 nJ.

Darüber hinaus beträgt der Bereich der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte zur Gewinnung der Ausbeulenergie (der Bereich, in dem die Ausbeulenergie  $(U_1 - U_2)$  in Fig. 14 positiv ist):

$$0 < h < 4.72 \mu\text{m}$$

gemäß Gleichung (3). Um einen Wert zu erhalten, der doppelt so groß ist wie die zum Ausstoßen des Tintentropfens erforderliche Energie  $U_T$ , d. h. 20 nJ oder größer, muß der Bereich der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte gemäß Gleichung (8)  $1.37 \mu\text{m} < h < 2.83 \mu\text{m}$

sein. Darüber hinaus wird der optimale Wert  $h_s$  der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte erhalten als:

$$h_s = 2.11 \mu\text{m}$$

gemäß der Gleichung (5). Die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte

wird in bevorzugter Weise so gewählt, daß sie sich in der Nähe des optimalen Wertes  $h_s$  befindet.

Anders ausgedrückt bedeutet die Tatsache, daß der optimale Wert  $h_s$  der Dicke  $h$  der Ausbeulplatte auf diese Weise gewonnen werden kann, daß die Temperaturveränderung (Heiztemperatur)  $t$  der Ausbeulplatte einen Wert von höchstens  $100^\circ\text{C}$  einnehmen kann und daß die Erwärmung nicht auf bis zu solch einer extrem hohen Temperatur ( $1000^\circ\text{C}$ ) ausgeführt werden muß wie bei dem bekannten Bubble Jet System. Daher können ein niedriger Energieverbrauch und eine hohe Zuverlässigkeit erreicht werden, damit die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes verlängert werden kann.

Die vorstehend erwähnten Ausführungsformen sind auf der Basis nur desjenigen Falles erläutert worden, daß eine Ausbeulplatte verwendet wird als die Druck erzeugende Platte, eine Heizungsschicht, die auf die Versorgung mit Spannung hin Wärme erzeugt als die Verformungseinrichtung eingesetzt wird und die Ausbeulplatte durch die Heizungsschicht so erwärmt wird, daß sie sich in der Form einer Ausbeulung verformt. Jedoch sind weder die Druck erzeugende Platte noch die Verformungseinrichtung auf die geschilderten Beispiele beschränkt. So ist es beispielsweise möglich, ein Laminat zu verwenden, welches durch Laminieren von zwei oder mehr Typen von Werkstoffen mit unterschiedlichen linearen Ausdehnungskoeffizienten gebildet wird und zwar als die Druck erzeugende Platte, eine Heizungsschicht ähnlich der vorstehend erwähnten als die verformende Einrichtung einzusetzen und die Druck erzeugende Platte zu verformen unter Einsatz eines Biegemomentes aufgrund einer Differenz zwischen den linearen Ausdehnungskoeffizienten. Weiterhin ist es möglich, eine Druck erzeugende Platte zu verwenden, die aus einem Werkstoff gefertigt ist, der nur eine Elastizität beziehungsweise Flexibilität besitzt, eine Verformungseinrichtung einzusetzen, die zur Aufnahme einer darauf ausgeübten mechanischen Druckkraft, einer elektrostatischen Kraft, einer elektromagnetischen Kraft oder dergleichen in der Lage ist und die Druck erzeugende Platte durch eine von der Verformungseinrichtung ausgeübten äußeren beziehungsweise von außen wirkenden Kraft zu verformen. Darüber hinaus kann die Druck erzeugende Platte eine solche sein, die durch eine Veränderung ihrer chemischen Eigenschaft oder kristallinen Struktur verformt wird.

Wie es aus der vorstehenden Beschreibung deutlich wird, verformt bei dem Tintenstrahlkopf nach der vorliegenden Erfindung die Verformungseinrichtung die Druck erzeugende Platte in die Richtung senkrecht zu der Wandfläche der Tintenammer und daher kann der mittige Bereich der Druck erzeugende Platte in relativ großem Ausmaß verformt werden. Aus diesem Grund können im Unterschied zu dem bekannten System mit einem piezoelektrischen Element die Abmessungen der Druck erzeugenden Platte und der Tintenammer klein ausgeführt werden, wodurch es dem Tintenstrahlkopf gestattet wird, miniaturisiert zu werden. Darüber hinaus dichtet die Druck erzeugende Platte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüssigkeitsdicht ab, während sie als ein Teil der Wandfläche fungiert und daher kann der Tintenstrahlkopf eine beträchtlich vereinfachte Struktur besitzen.

Zudem dichtet gemäß diesem Tintenstrahlkopf die Druck erzeugende Platte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüssigkeitsdicht ab (die Fensteröffnung wird sogar flüssigkeitsdicht gehalten, wenn der mittige Abschnitt der Druck erzeugenden Platte in die

Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche versetzt ist) und die Tinte bewegt sich nicht zur rückwärtigen Seite der Druck erzeugenden Platte herum hin (entgegengesetzt einer der Tintenausstoßöffnung gegenüberliegenden Seite). Aus diesem Grund können die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte vergrößert werden. Zudem kann als die Verformungseinrichtung eine Einrichtung zur Aufbringung von Wärme auf die Druckerzeugungsplatte eingesetzt werden, um die Druck erzeugende Platte durch die erzeugte thermische Ausdehnungskraft zu verformen, nämlich eine Einrichtung zur Verformung der Druck erzeugenden Platte durch eine elektrostatische Kraft, eine elektromagnetische Kraft oder dergleichen. Wenn eine Einrichtung zur Verformung der Druck erzeugenden Platte durch eine elektrostatische Kraft oder eine elektromagnetische Kraft verwendet wird, ist es selbstverständlich nicht erforderlich, eine Erhitzung beziehungsweise Heizung auszuführen. Wenn die Einrichtung zur Aufbringung von Wärme auf die Druck erzeugende Platte zur Verformung der Druck erzeugenden Platte durch die erzeugte thermische Ausdehnungskraft verwendet wird, kann die Heiztemperatur einen Wert von weitgehend höchstens  $100^\circ\text{C}$  einnehmen. Das heißt im Unterschied zu dem bekannten Bubble Jet System ist es nicht erforderlich, die Heiztemperatur auf eine extrem hohe Temperatur ( $1000^\circ\text{C}$ ) zu erhöhen. Daher wird eine hohe Zuverlässigkeit gewonnen, damit die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes vergrößert werden kann.

Gemäß einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes nach der vorliegenden Erfindung ist die Ausbeulplatte so ausgebildet, daß sie sich in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche der Tintenammer ausbeult und daher kann der mittige Bereich der Ausbeulplatte in einem relativ großen Ausmaß versetzt werden. Daher kann im Unterschied zu dem bekannten System mit einem piezoelektrischen Element der Tintenstrahlkopf kompakt ausgebildet werden, indem die Ausbeulplatte und die Tintenammer klein ausgebildet wird. Darüber hinaus dichtet die Ausbeulplatte die Fensteröffnung der Wandfläche weitgehend flüssigkeitsdicht ab, während sie als ein Teil der Wandfläche fungiert und daher kann der Tintenstrahlkopf eine beträchtlich vereinfachte Struktur aufweisen. Zudem dichtet gemäß diesem Tintenstrahlkopf die Druck erzeugende Platte die Fensteröffnung der Tintenammer weitgehend flüssigkeitsdicht ab (die Fensteröffnung wird sogar flüssigkeitsdicht gehalten, wenn der mittige Abschnitt der Ausbeulplatte in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche versetzt ist) und die Tinte bewegt sich nicht zur rückwärtigen Seite der Ausbeulplatte herum hin (entgegengesetzt einer der Tintenausstoßöffnung gegenüberliegenden Seite). Aus diesem Grund können die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte vergrößert werden. Weiterhin kann die Heiztemperatur der Heizungsschicht einen Wert von weitgehend höchstens  $100^\circ\text{C}$  einnehmen, was bedeutet, daß eine solch extrem hohe Temperatur ( $1000^\circ\text{C}$ ) wie bei dem bekannten Bubble Jet System nicht notwendig ist. Aus diesem Grund werden ein reduzierter Energieverbrauch und eine hohe Zuverlässigkeit erreicht, so daß die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes verlängert werden kann.

Bei dem Tintenstrahlkopf nach einer Ausführungsform besitzt die Ausbeulplatte eine ovale Plattenform. Daher kann eine kleinere Ausbeulenergie eine bestimmte Versetzung in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche hervorrufen als es der Fall ist, wenn die Ausbeulplatte eine rechteckige Platte ist. Daher können

eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei kleinem Energieverbrauch erreicht werden. Darüber hinaus tritt anders als bei dem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine rechteckige Platte ist, keine Spannungskonzentration in der Ausbeulplatte in ausgebeultem Zustand auf. Aus diesem Grund kann die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, so daß die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes weiter verlängert werden kann.

Nach einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes ist die Ausbeulplatte an dem Bereich zwischen den beiden Endbereichen der Ausbeulplatte, die an der Wandfläche angeordnet sind in ihrer Dicke verringert ausgebildet und daher besitzt die Ausbeulplatte verglichen mit dem Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke aufweist ein verringertes Volumen. Daher kann ein kleinerer Energieverbrauch die Temperatur der Ausbeulplatte auf eine bestimmte Temperatur ansteigen lassen. Infolgedessen können eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei verringertem Energieverbrauch erzielt werden. Darüber hinaus wird die Ausbeulplatte leichter verformt als es der Fall ist, wenn die Ausbeulplatte von gleichförmiger Dicke ist und daher wird die Belastung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert. Daher kann die Ermüdung der Ausbeulplatte und der Heizungsschicht verringert werden, so daß die Lebensdauer des Tintenstrahlkopfes weiter verlängert werden kann.

Gemäß dem Tintenstrahlkopf nach einer Ausführungsform besitzt die Ausbeulplatte eine Scheibenform und bezüglich der Dicke Rotationssymmetrie und daher kann eine weit geringere Ausbeulenergie eine bestimmte Versetzung in die Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche hervorrufen als es der Fall ist bei einer Ausbeulplatte Form ovaler Plattenform.

Zudem ist die Dicke des Sektorbereiches zwischen den Mustern der Heizungsschicht der Ausbeulplatte dünner ausgebildet als die Dicke des restlichen Bereiches der Ausbeulplatte, was bedeutet, daß die Ausbeulplatte ein geringeres Volumen aufweist als bei dem Fall, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke besitzt. Daher kann ein geringerer Einsatz an Energie die Temperatur der Ausbeulplatte auf eine bestimmte Temperatur ansteigen lassen. Als ein Ergebnis dieser Faktoren kann eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit bei kleinem Energiebedarf erreicht werden.

Darüber hinaus besitzt die Ausbeulplatte eine Scheibenform und daher tritt keine Spannungskonzentration auf in dem Zustand, bei dem die Platte ausgebeult ist ähnlich demjenigen Fall, bei dem die Ausbeulplatte eine ovale Plattenform besitzt. Darüber hinaus ist die Ausbeulplatte teilweise beziehungsweise bereichsweise bezüglich ihrer Dicke verringert ausgebildet und daher wird sie leichter verformt als bei einem Fall, wenn die Ausbeulplatte eine gleichförmige Dicke besitzt. Daher wird die Standzeit des Tintenstrahlkopfes weiter vergrößert werden.

Nach einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes ist die Ausbeulplatte aus einem metallischen Werkstoff gefertigt. Im allgemeinen besitzt Metall einen großen Elastizitätsmodul, einen großen linearen Ausdehnungskoeffizienten und eine große thermische Leitfähigkeit und weist infolgedessen ein hohes Ausmaß an Verformbarkeit auf. Daher kann bei einer aus einem metallischen Werkstoff gefertigten Ausbeulplatte eine große Ausstoßkraft und eine große Ausstoßgeschwindigkeit gewonnen werden, wodurch es ermöglicht wird, den

Frequenzgang zu verbessern. Zudem kann die Standzeit des Tintenstrahlkopfes verlängert werden.

Bei dem Tintenstrahlkopf ist es nach einer Ausführungsform vorgesehen, daß die Ausbeulplatte eine Scheibenform aufweist und ihr Umfangsbereich über den gesamten Umfang an der Wandfläche angeordnet ist und bei einem Werkstoff, der die Ausbeulplatte bildet, mit einem Elastizitätsmodul  $E$  (GPa), einem Poissonschen Beiwert  $\nu$  und einem Koeffizienten der linearen Ausdehnung  $\alpha$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), wobei die Ausbeulplatte einen Durchmesser  $D$  ( $\mu\text{m}$ ) besitzt und die Ausbeulplatte durch die Erwärmung mit der Heizungsschicht einer Temperaturveränderung ( $^{\circ}\text{C}$ ) ausgesetzt ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte dann innerhalb des Bereiches

$$0 < h < \{3\alpha t D^2(1 + \nu)/(\pi^2 + 4c)\}^{1/2} \quad (\text{wobei } c = 1.22 \text{ eine Konstante ist})$$

eingestellt ist, so daß die Ausbeulplatte eine Ausbeulenergie zur Aufbringung eines Druckes auf die Tintenflüssigkeit innerhalb der Tintenkammer erzeugt.

Bei dem Tintenstrahlkopf besitzt die Ausbeulplatte eine Scheibenform und ist über den gesamten Umfang der Ausbeulplatte an der Wandfläche angeordnet. Weiterhin wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte innerhalb des folgenden Bereiches eingestellt:

$$0 < h < \{3\alpha t D^2(1 + \nu)/(\pi^2 + 4c)\}^{1/2} \quad (\text{wobei } c = 1.22 \text{ eine Konstante ist})$$

und daher kann die Ausbeulplatte eine Ausbeulenergie zur Aufbringung eines Druckes auf die Tintenflüssigkeit innerhalb der Tintenkammer erzeugen.

Gemäß einer Ausführungsform wird bei einem aus der Tintenausstoßöffnung auszustößenden Tintentröpfchen mit einer Masse  $m$  (kg), einer Ausstoßgeschwindigkeit  $v$  (m/s) und einer Oberflächenausdehnung  $S$  ( $\mu\text{m}^2$ ), wobei die Tintenflüssigkeit eine Oberflächenspannung  $\sigma$  (N/m), einen Koeffizienten der Viskosität  $\mu$  (mPa·s) und eine Dichte  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) besitzt, und die Tintenausstoßöffnung (47a) eine Länge ( $\mu\text{m}$ ), einen Innendurchmesser  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) aufweist und ein Verlustfaktor  $\xi$  ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte (42) innerhalb eines Bereiches eingestellt, der dem folgenden Ausdruck genügt:

$$2EhD^2C_2/\pi^2(1 - \nu^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2\rho + \xi mv^2/2$$

$$(\text{wobei } C_2 = \pi^2[h^2(\pi^2 + 4c) - 3\alpha t D^2(1 + \nu)]/12D^2)$$

so daß die Ausbeulenergie eine zum Ausstoßen des Tintentröpfchens aus der Tintenkammer heraus erforderliche Energie überschreitet.

Bei dem Tintenstrahlkopf wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte in einem Bereich eingestellt, der dem folgenden Ausdruck genügt:

$$2EhD^2C_2/\pi^2(1 - \nu^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mv\mu/d^2\rho + \xi mv^2/2$$

$$(\text{wobei } C_2 = \pi^2[h^2(\pi^2 + 4c) - 3\alpha t D^2(1 + \nu)]/12D^2)$$

und daher kann die Ausbeulenergie die zum Ausstoßen eines Tintentröpfchens aus der Tintenkammer heraus erforderliche Energie überschreiten.

Nach einer Ausführungsform des Tintenstrahlkopfes wird die Dicke  $h$  der Ausbeulplatte auf einen optimalen

Wert  $h_s$  eingestellt, der ausgedrückt wird durch:

$$h_s = \{3\alpha t D^2(1 + \nu)/5(\pi^2 + 4c)\}^{1/2}$$

und daher kann die Ausbeulenergie maximiert werden.

Es ist ein Tintenstrahlkopf vorgesehen, der in seiner Tinten-kammer (6a) Druck erzeugt, um eine Tintenflüssigkeit (100) durch eine Tintenausstoßöffnung (7a) aus der Kammer heraus nach außen auszustoßen und miniaturisiert werden kann, die Ausstoßkraft und die Ausstoßgeschwindigkeit der Tinte vergrößert und eine lange Standzeit sicherstellt. Die Tinten-kammer (6a) besitzt eine Fensteröffnung (4a) an einer Wandfläche (4) gegenüber der Tintenausstoßöffnung (7a). Es ist eine Druckerzeugungsplatte (2) aus einem flexiblen Material vorgesehen, die die Fensteröffnung (4a) im wesentlichen flüssigkeitsdicht abdichtet. Die Druckerzeugungsplatte (2) ist mit ihren beiden Endbereichen an der Wandfläche (4) angeordnet und zwar in wenigstens einer Richtung bezüglich ihres Umfangsbereiches (2c). Die Druckerzeugungsplatte (2) ist mit einer Verformungseinrichtung (1) versehen, um die Druckerzeugungsplatte in einem nicht versetzten Zustand zu verbringen, während dessen die Druckerzeugungsplatte flach ist und in einen versetzten Zustand, während dessen ihr mittlerer Bereich (2a) zwischen den beiden an der Wandfläche (4) angeordneten Enden in einer Richtung rechtwinklig zu der Wandfläche (4) versetzt ist.

Obwohl die Erfindung wie vorstehend dargelegt beschrieben worden ist, ist es offensichtlich, daß sie auf vielfältige Weise modifiziert werden kann. Solche Modifikationen werden nicht als Abweichung vom Wesen und dem Umfang der Erfindung angesehen und alle diese dem Fachmann offensichtlichen Modifikationen sind von den beigefügten Ansprüchen umfaßt.

#### Patentansprüche

1. Tintenstrahlkopf (10, 20, 30, 40, 50) zur Erzeugung eines Druckes in einer Tinten-kammer (6a, 16a, 26a, 36a, 46a) zur Abgabe einer Tintenflüssigkeit (100, 110, 120, 130, 140) in der Tinten-kammer (6a, 16a, 26a, 36a, 46a) durch eine Tintenausstoßöffnung (7a, 17a, 27a, 37a, 47a) nach außerhalb der Tinten-kammer (6a, 16a, 26a, 36a, 46a), wobei die Tinten-kammer eine Fensteröffnung (4a) an einer Wandfläche gegenüber der Tintenausstoßöffnung (7a, 17a, 27a, 37a, 47a) aufweist, mit:  
einer Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52), deren Umfangsbereich beide Endbereiche wenigstens in einer Richtung an der Wandfläche in einem Zustand angeordnet aufweist, bei dem die Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) die Fensteröffnung (4a) im wesentlichen flüssigkeitsdicht abdichtet; und  
einer Verformungseinrichtung (1, 11, 21, 31, 41) zum Versetzen der Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) in einen nicht versetzten Zustand, bei dem die Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) flach ist und in einen versetzten Zustand, bei dem ein mittlerer Abschnitt der Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) zwischen den beiden an der Wandfläche angeordneten Endbereichen in eine Richtung rechtwinklig zur Wandfläche versetzt ist.
2. Tintenstrahlkopf (10, 20, 30, 40, 50) nach Anspruch 1, wobei die Druckerzeugungsplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) eine Ausbeulplatte ist, die in einen nicht versetzten Zustand bringbar ist, bei dem im

wesentlichen keine Temperaturspannung auftritt und einen versetzten Zustand, bei dem die Ausbeulplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) thermisch zur Ausbeulung nach einer Erwärmung vergrößert ist und die Verformungseinrichtung (1, 11, 21, 31, 41) eine Heizungsschicht (1, 11, 21, 31, 41) ist, die an einer Oberfläche der Ausbeulplatte oder innerhalb der Ausbeulplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) parallel zu der Oberfläche vorgesehen ist und nach einer Spannungsversorgung Wärme erzeugt.

3. Tintenstrahlkopf (30) nach Anspruch 2, wobei die Ausbeulplatte (22) eine ovale Plattenform aufweist.

4. Tintenstrahlkopf (40, 50) nach Anspruch 2, wobei die Ausbeulplatte (32, 42) wenigstens an ihrem Abschnitt (32b, 42b) zwischen den beiden Endbereichen (32c, 42c) eine teilweise verringerte Dicke besitzt.

5. Tintenstrahlkopf (50) nach Anspruch 2, wobei die Ausbeulplatte (42) eine Scheibenform aufweist und ihren Umfangsbereich über dem gesamten Umfang an der Wandfläche angeordnet aufweist, die Heizungsschicht (41) in einem sich weitgehend radial von dem mittigen Bereich zu dem Umfangsbereich der Ausbeulplatte (42) erstreckenden Muster ausgebildet ist, und die Ausbeulplatte (42) an ihren Sektorbereichen (42b), die zwischen den Mustern (41c) der Heizungsschicht (41) bestehen, eine Dicke aufweist, die dünner ist als ein anderer Abschnitt (42c) als die Sektorbereiche (42b) der Ausbeulplatte (42).

6. Tintenstrahlkopf (10, 20, 30, 40, 50) nach Anspruch 2, wobei die Ausbeulplatte (2, 12, 22, 32, 42, 52) aus einem metallischen Werkstoff gefertigt ist.

7. Tintenstrahlkopf (50) nach Anspruch 2, wobei die Ausbeulplatte (42, 52) eine Scheibenform aufweist und ihr Umfangsbereich über den gesamten Umfang an der Wandfläche angeordnet ist und bei einem Werkstoff, der die Ausbeulplatte (42, 52) bildet, mit einem Elastizitätsmodul  $E$  (GPa), einem Poissonschen Beiwert  $\nu$  und einem Koeffizienten der linearen Ausdehnung  $\alpha$  ( $1/^\circ\text{C}$ ), wobei die Ausbeulplatte einen Durchmesser  $D$  ( $\mu\text{m}$ ) besitzt und die Ausbeulplatte (42, 52) durch die Erwärmung mit der Heizungsschicht (41) einer Temperaturveränderung ( $^\circ\text{C}$ ) ausgesetzt ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte (42, 52) dann innerhalb des Bereiches

$$0 < h < \{3\alpha t D^2(1 + \nu)/(\pi^2 + 4c)\}^{1/2} \quad (\text{wobei } c = 1.22 \text{ eine Konstante ist})$$

eingestellt ist, so daß die Ausbeulplatte (42) eine Ausbeulenergie zur Aufbringung eines Druckes auf die Tintenflüssigkeit (140) innerhalb der Tinten-kammer (46a) erzeugt.

8. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 7, wobei bei einem aus der Tintenausstoßöffnung (47a) auszustoßenden Tintentröpfchen mit einer Masse  $m$  (kg), einer Ausstoßgeschwindigkeit  $v$  (m/s) und einer Oberflächenausdehnung  $S$  ( $\mu\text{m}^2$ ), wobei die Tintenflüssigkeit (140) eine Oberflächenspannung  $\sigma$  (N/m), einen Koeffizienten der Viskosität  $\mu$  (mPa·s) und eine Dichte  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) besitzt, und die Tintenausstoßöffnung (47a) eine Länge ( $\mu\text{m}$ ), einen Innendurchmesser  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) aufweist und ein Verlustfaktor  $\xi$  ist, die Dicke  $h$  ( $\mu\text{m}$ ) der Ausbeulplatte (42) innerhalb eines Bereiches eingestellt ist, der dem folgenden Ausdruck genügt:

$$2EhD^2C_2^2/\pi^3(1-v^2) > mv^2/2 + \sigma S + 32mvi\mu/d^2p + \xi - mv^2/2$$

$$(\text{wobei } C_2 = \pi^2[h^2(\pi^2 + 4c) - 3\alpha tD^2(1+v)]/12D^2)$$

so daß die Ausbeulenergie eine zum Ausstoßen des Tintentröpfchens aus der Tintenammer (46a) heraus erforderliche Energie überschreitet.

9. Tintenstrahlkopf (50) nach Anspruch 7, wobei die Dicke h der Ausbeulplatte (42, 52) auf einen optimalen Wert  $h_s$  eingestellt ist, der durch

$$h_s = \{3\alpha tD^2(1+v)/5(\pi^2 + 4c)\}^{1/2}$$

ausgedrückt ist, so daß die Ausbeulenergie maximiert ist.

10. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 8, wobei die Dicke h der Ausbeulplatte (42, 52) auf einen optimalen Wert  $h_s$  eingestellt ist, der durch

$$h_s = \{3\alpha tD^2(1+v)/5(\pi^2 + 4c)\}^{1/2}$$

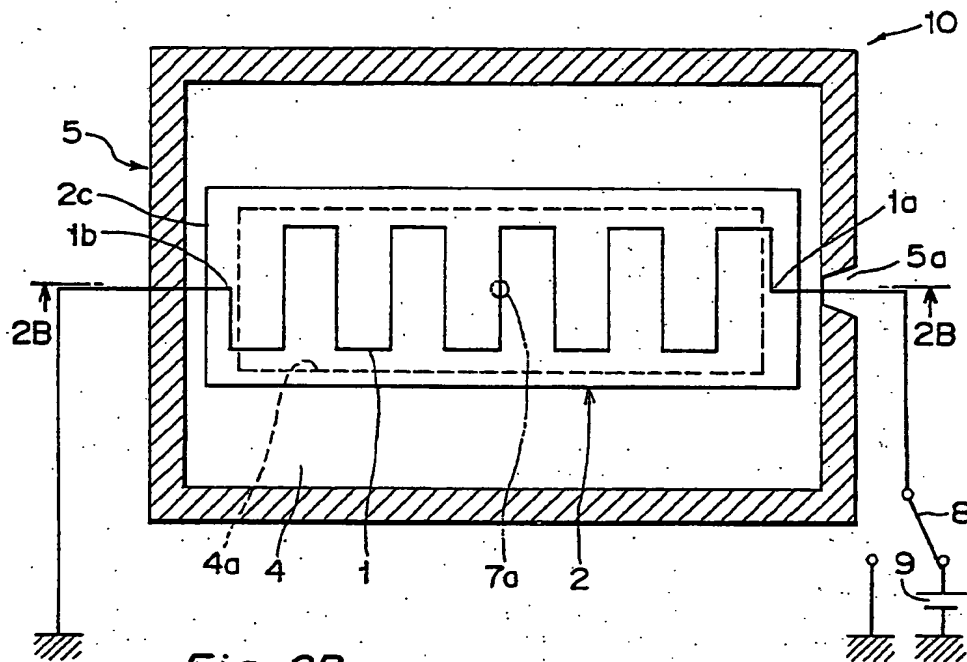
ausgedrückt ist, so daß die Ausbeulenergie maximiert ist.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

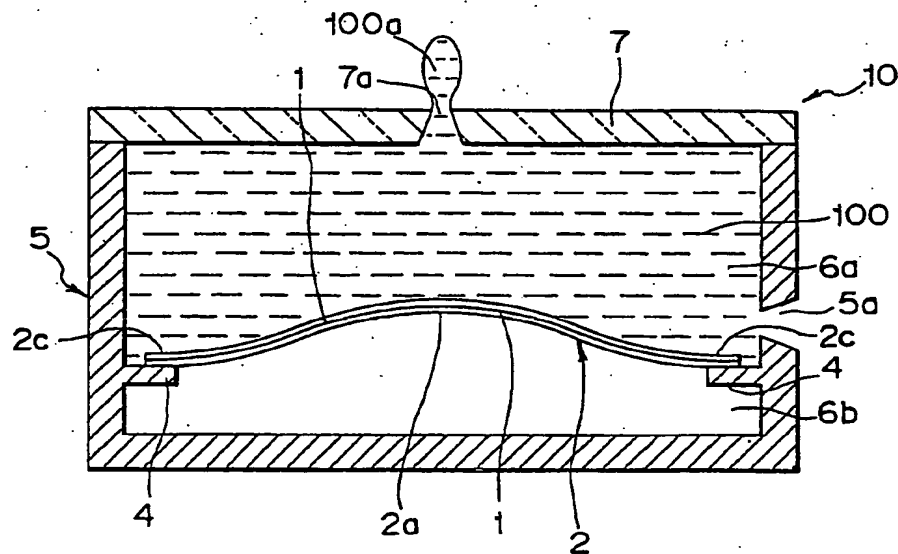




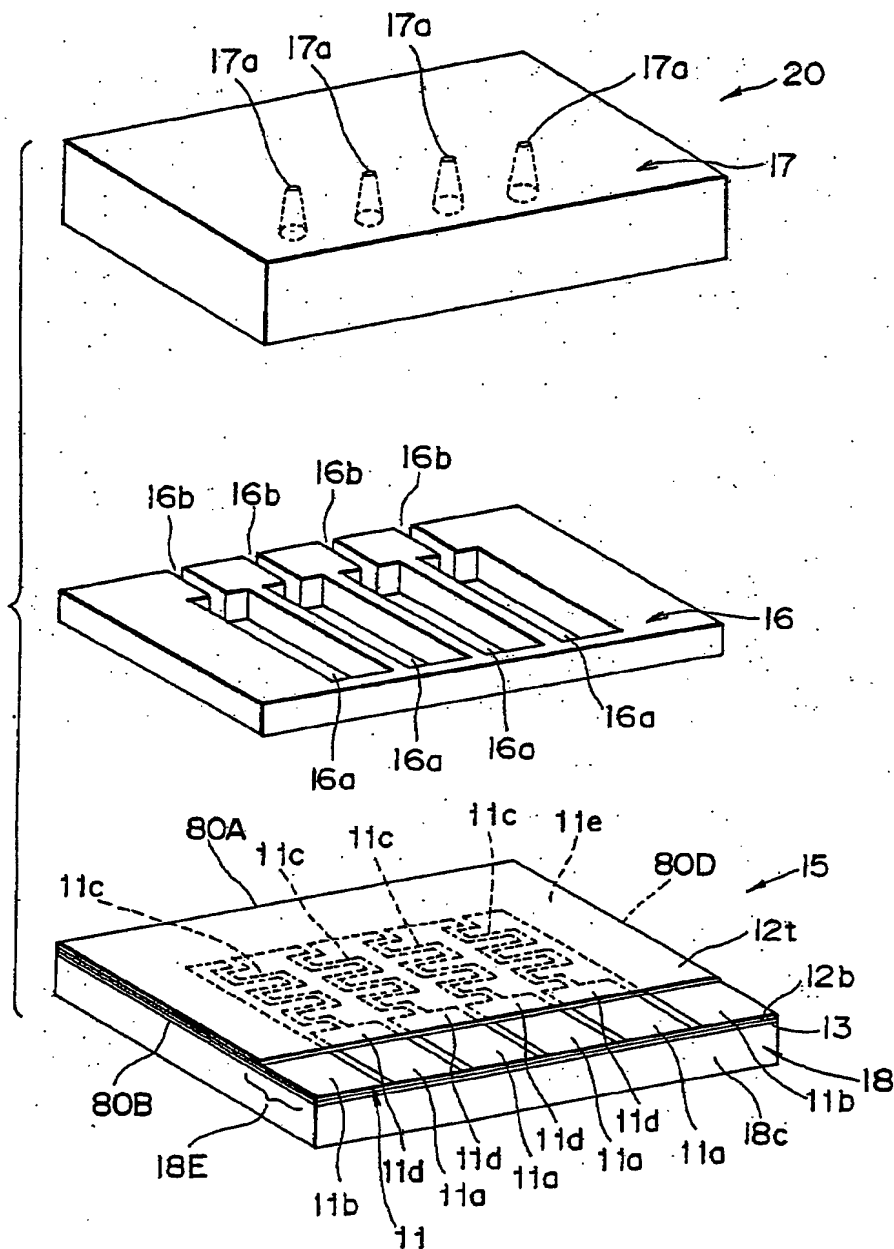
*Fig. 2A*



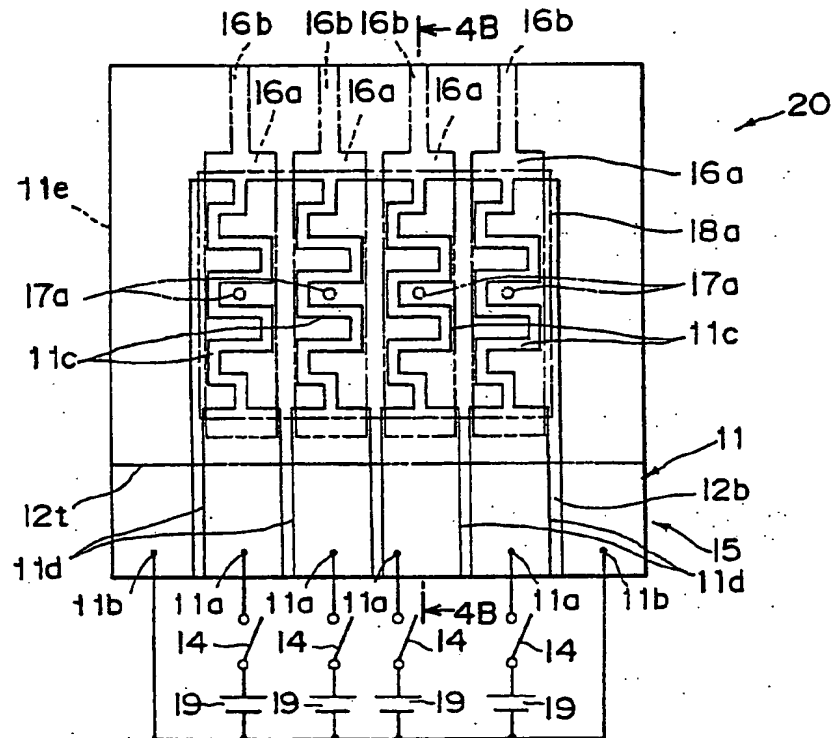
**Fig. 2B**



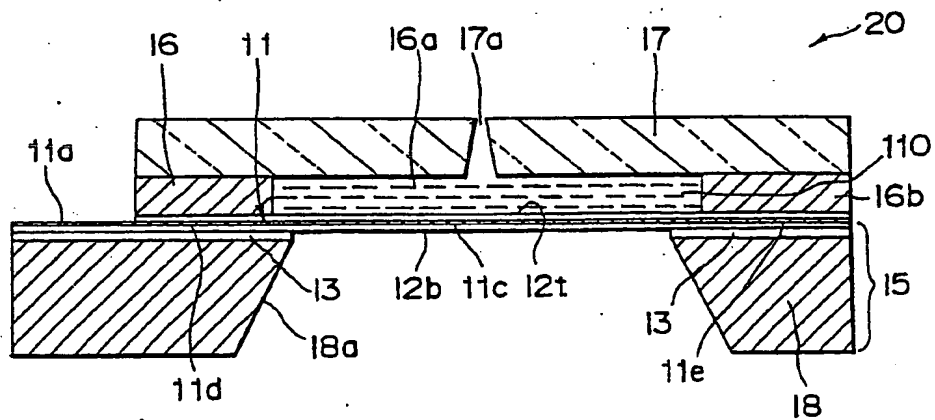
*Fig. 3*



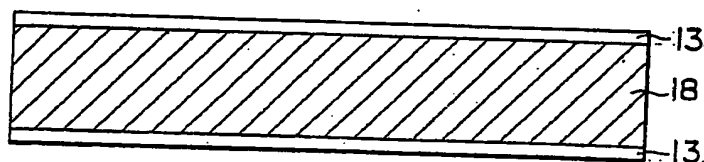
*Fig. 4A*



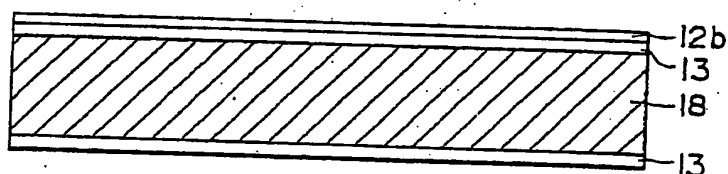
*Fig. 4B*



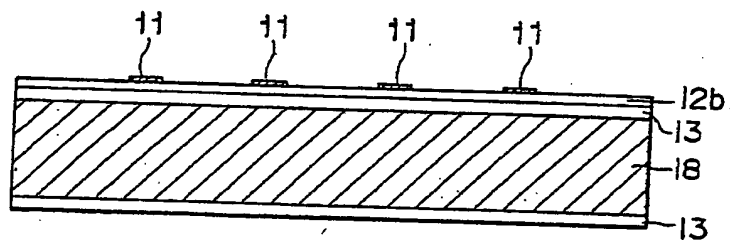
*Fig. 5A*



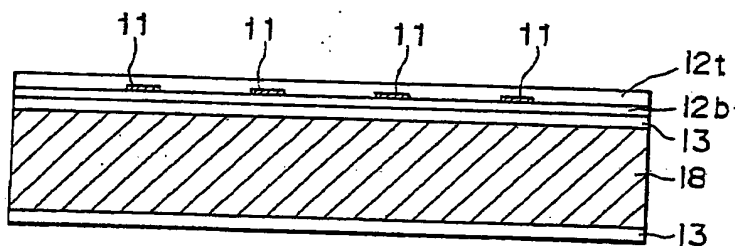
*Fig. 5B*



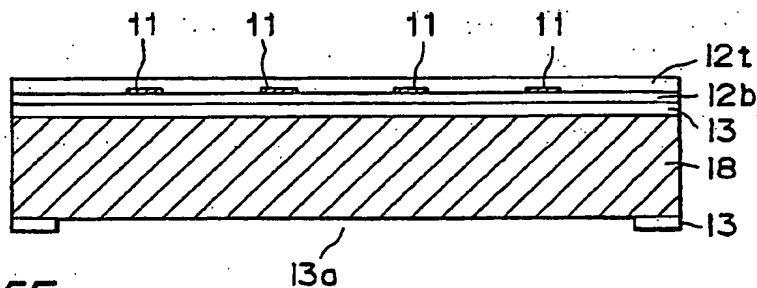
*Fig. 5C*



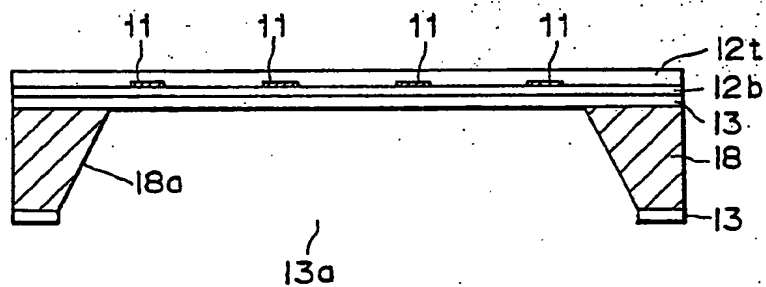
*Fig. 5D*



*Fig. 5E*



*Fig. 5F*



*Fig. 5G*

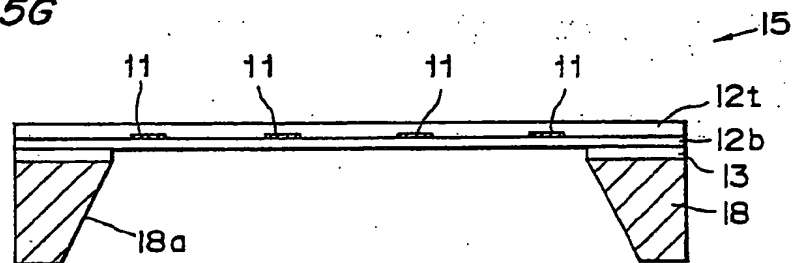


Fig. 6A

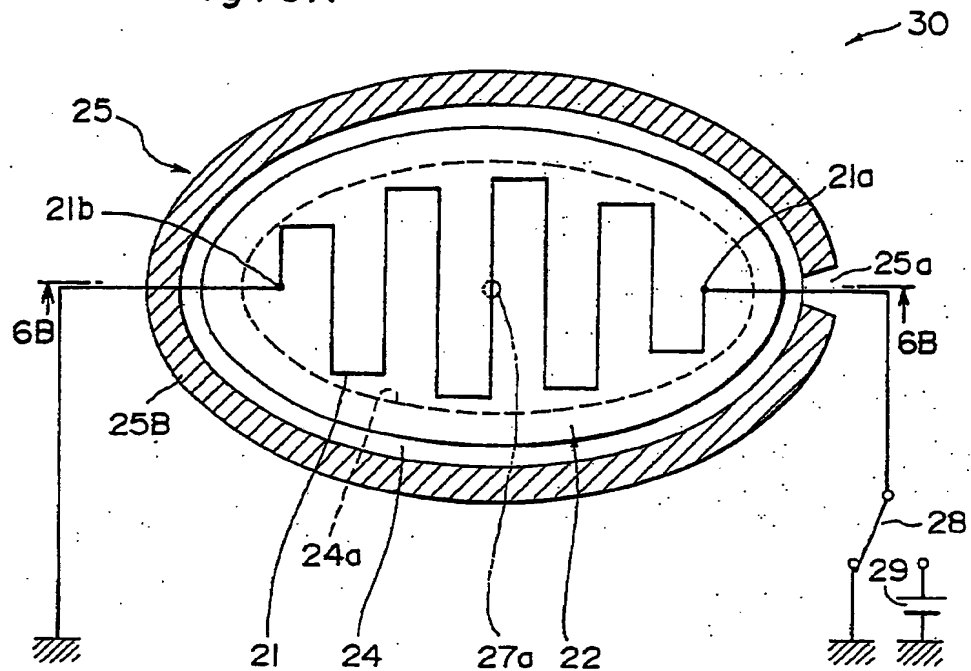
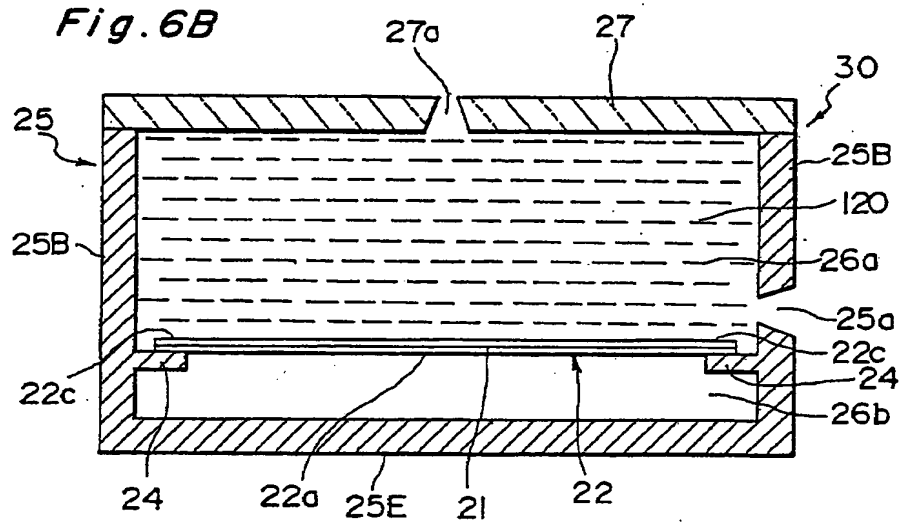
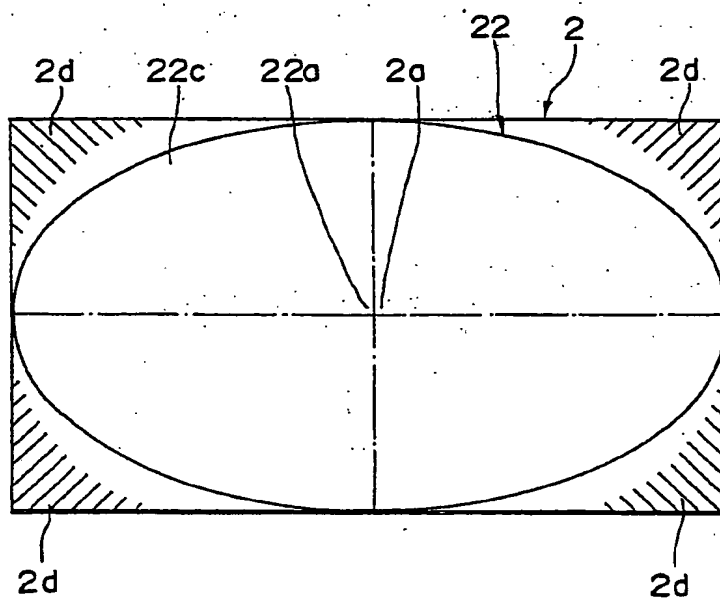


Fig. 6B

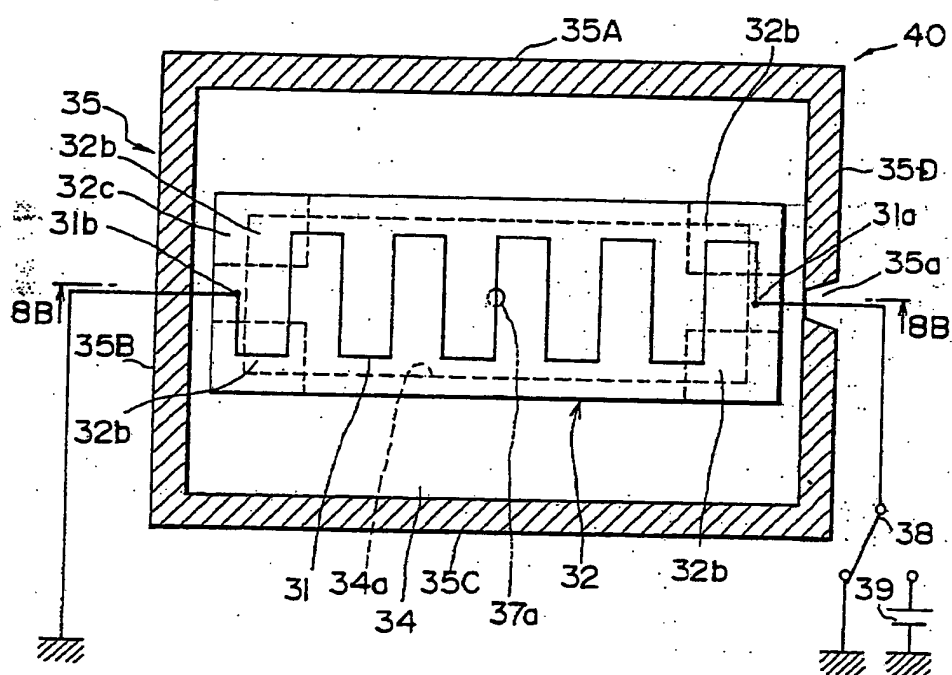




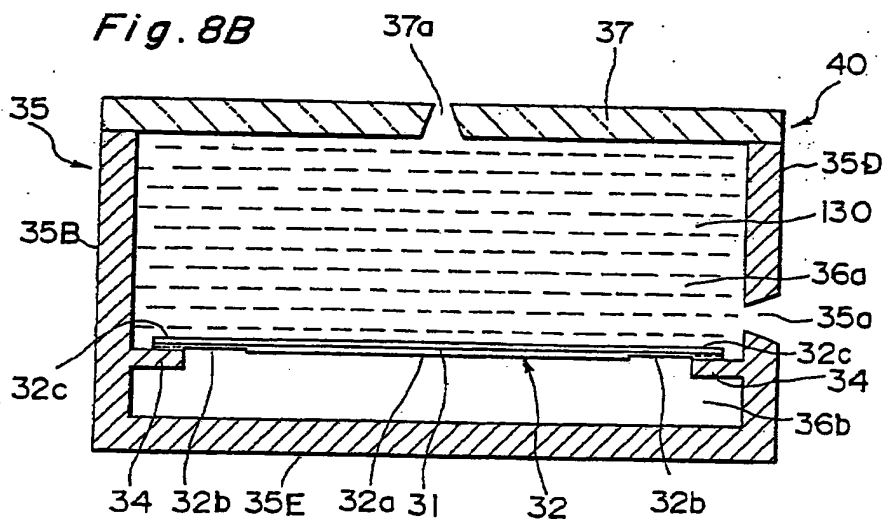
*Fig. 7*



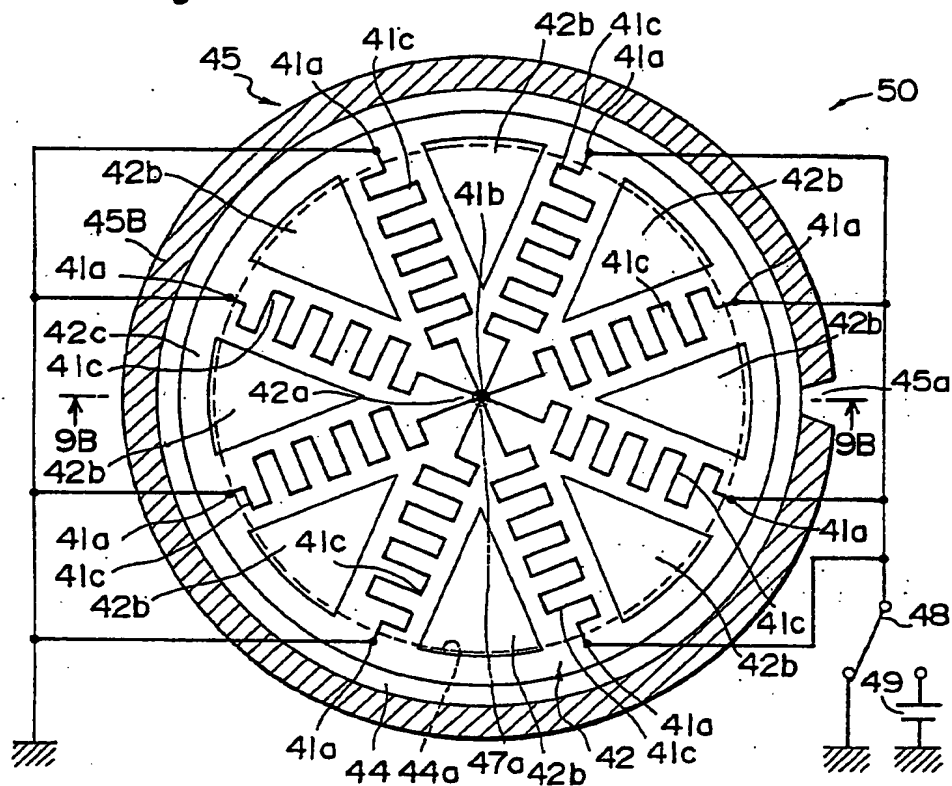
*Fig. 8A*



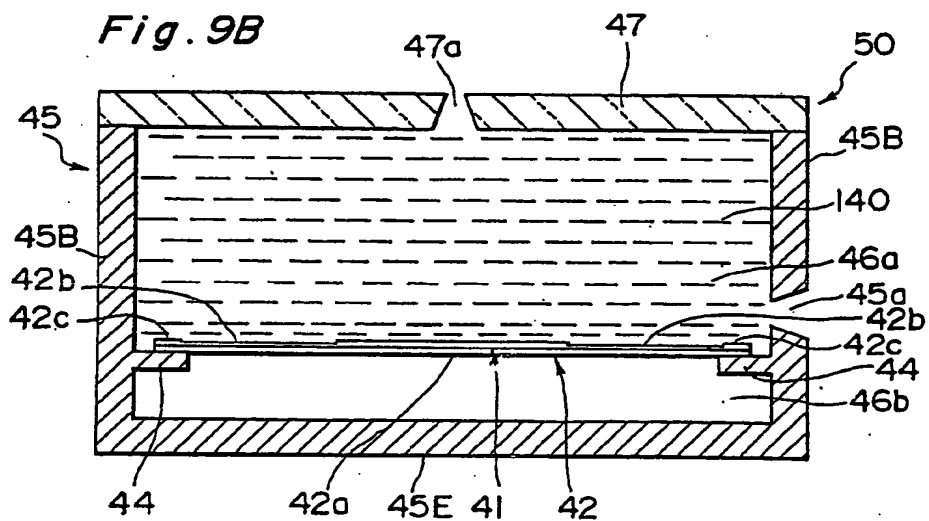
*Fig. 8B*



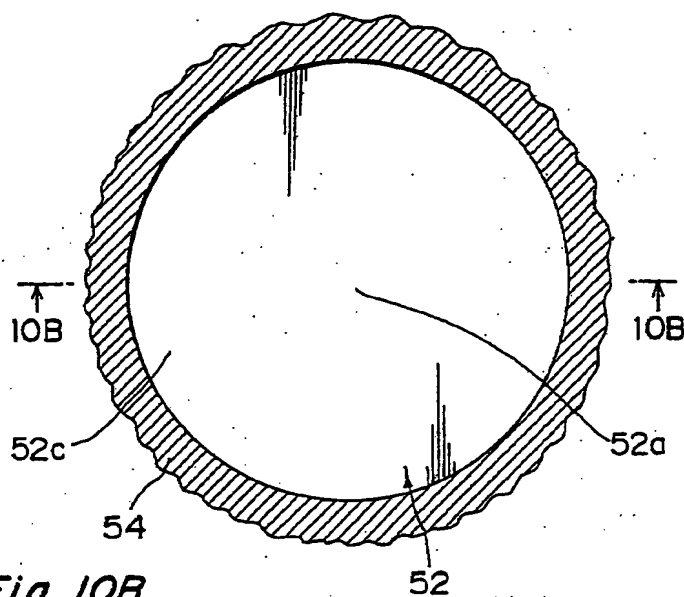
**Fig. 9A**



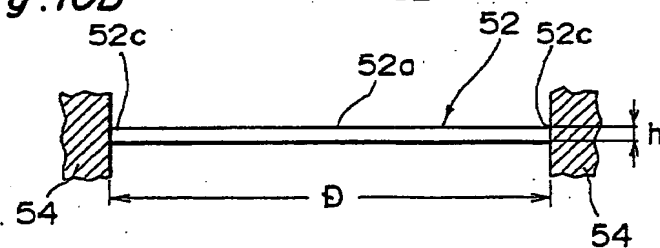
**Fig. 9B**



*Fig. 10A*



*Fig. 10B*



*Fig. 11*

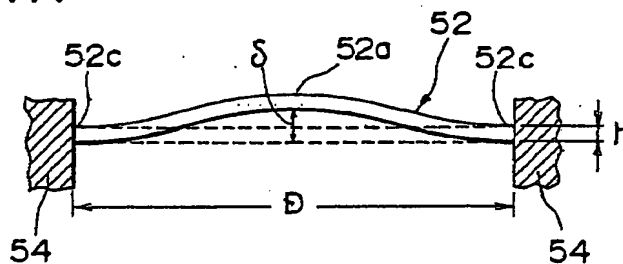


Fig. 12

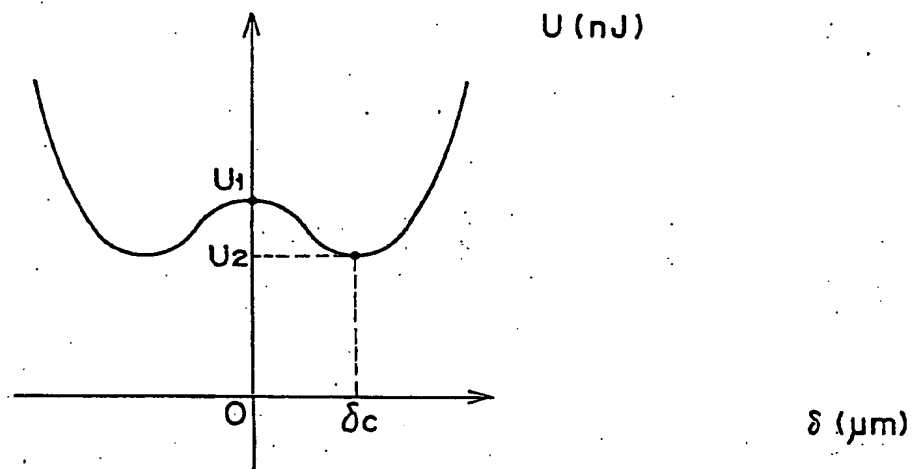
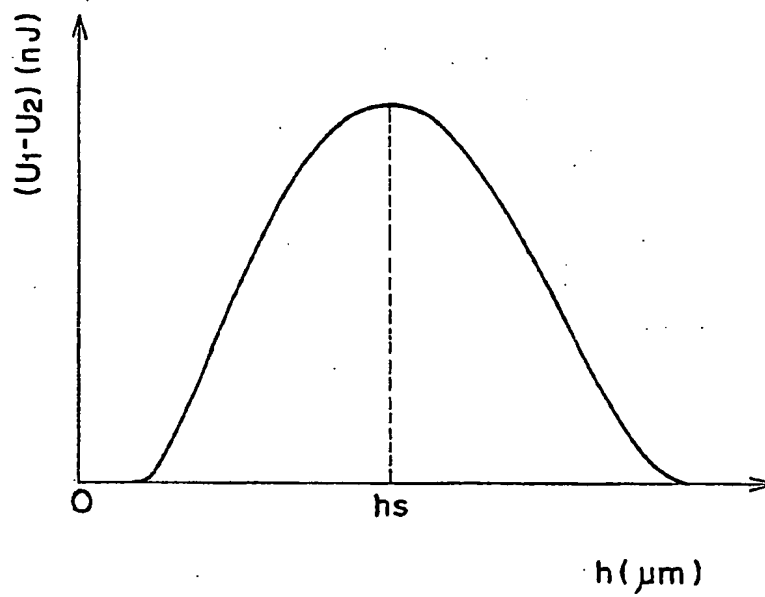


Fig. 13



*Fig. 14*

